



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA UZÁVĚRŮ LAHVÍ

PRODUCTION OF BOTTLE CAPS

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Karel Bělaška

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2018

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Karel Bělaška**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Ladislav Žák, Ph.D.**  
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Výroba uzávěrů lahví

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem práce bude studie technologie vstřikování plastů a konstrukční řešení formy na výrobu zadané součásti.

### Cíle diplomové práce:

Posouzení technologičnosti výroby součásti.  
Literární studie problematiky technologie vstřikování plastů a konstrukce forem.  
Návrh technologie výroby součásti s potřebnými výpočty.  
Konstrukční řešení formy.  
Ekonomické zhodnocení.

### Seznam doporučené literatury:

DILLINGER, Josef. Moderní strojírenství pro školu i praxi. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.

KOLOUCH, Jan. Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním. 1. vyd. Praha : SNTL, 1986. ISBN 04-247-86.

ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. Brno: Sekurkon, 2007. ISBN 978-80-86604-36-7.

SOVA, Miloš a Josef KREBS. Termoplasty v praxi. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-86229--5-7.

MENGES, Georg. How to make injection molds. 3rd ed. Munich: Hanser, 2001. ISBN 978-3-4-6-21256-5.

ERHARD, Gunter. Designing with plastics. Munich: Hanser, 2006. ISBN 9783446225909.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

### **BĚLAŠKA Karel: Výroba uzávěrů láhví**

---

Diplomová práce se zabývá návrhem vstřikovací formy pro výrobu uzávěru s dětskou pojistkou, který je určen pro plastové láhve. Nejprve je proveden rozbor zadané součásti s upřesněním její funkce a stanovena kritéria, které musí splňovat. Po výběru technologie výroby (vstřikování) je následně v teoretické části provede rozbor technologie vstřikování a konstrukce forem. V praktické části je proveden kompletní návrh vstřikovací formy na základě provedených simulací a technologických výpočtů. Na základě parametrů vstřikovací formy byl vybrán vstřikovací stroj. V závěr práce je provedeno technicko – ekonomické zhodnocení navrhované výroby uzávěru s dětskou pojistkou.

Klíčová slova: vstřikovací forma, uzávěr s dětskou pojistkou, polypropylen, vstřikovací stroj, simulační analýza

## **ABSTRACT**

### **BĚLAŠKA Karel: Production of bottle caps**

---

The master's thesis deals with the design of an injection mould for manufacturing of a plastic bottle cap with a child safety lock. Firstly, the analysis of the part is done including a detailed specification of its function and criteria, which have to be fulfilled. After the technology is chosen (injection moulding), the analysis of the injection moulding technology and the problematics of design process is provided. In the following practical part of the thesis, the particular mould for the given part is fully designed using simulation and technological calculation. On the basis of the acquired parameters of the mould, the injection machine was chosen. At the conclusion of the thesis, the technical and economical evaluation of the proposed manufacturing process for the cap with child safety lock is realised.

Keywords: injection mould, cap with child safety lock, polypropylene, injection machine, simulation analysis

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BĚLAŠKA, Karel. *Výroba uzávěrů lahví*. Brno, 2018. 58s, 8 výkresů, 7 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D..

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V ..... dne 25.5.2018

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing, Ladislavovo Žákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu při tvorbě diplomové práce a při dosavadním studiu.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD.....	10
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	11
1.1 Varianty řešení.....	11
2 Technologie vstřikování plastů.....	15
2.1 Vstřikovací cyklus.....	16
2.2 Vstřikovací forma.....	18
2.2.1 Dělicí rovina.....	19
2.2.2 Násobnost formy.....	20
2.3 Vyhazovací systém.....	21
2.3.1 Mechanické vyhazování.....	22
2.3.2 Vzduchové vyhazování.....	22
2.3.3 Vyhazovací systémy pro výstřiky s vnitřními závity.....	23
2.4 Vtoková soustava.....	24
2.4.1 Studená vtoková soustava.....	24
2.4.2 Vyhřívaná vtoková soustava.....	26
2.5 Temperace forem.....	27
2.6 Odvzdušnění forem.....	28
2.7 Faktory ovlivňující vlastnosti a kvalitu výstřiku.....	29
2.8 Vstřikovací stroj.....	29
2.8.1 Vstřikovací jednotka.....	30
2.8.2 Uzavírací jednotka.....	30
2.9 Speciální technologie vstřikování.....	31
2.9.1 Technologie vícekomponentního nebo vícebarevného vstřikování.....	31
2.9.2 Technologie vstřikování sendvičů.....	31
2.9.3 Technologie vstřikování plastů s podporou plynu.....	32
2.9.4 Technologie vstřikování plastů s podporou vody.....	32
2.9.5 Technologie kompresního vstřikování.....	33
3 NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	34
3.1 Základní prvky formy.....	35
3.2 Výpočet technologických parametrů.....	36
3.2 Konstrukční řešení formy.....	43
3.2.1 Základní rám formy.....	44
3.2.2 Tvarové vložky dutiny formy.....	45



3.2.3 Vtoková soustava.....	46
3.2.4 Temperační systém .....	47
3.2.5 Vyhazovací systém .....	48
3.2.6 Návrh odvzdušnění .....	49
3.2.7 Manipulační prvky formy .....	50
3.3 Volba vstřikovacího stroje.....	51
3.4 Technologický postup výroby .....	52
4 Technicko – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	53
5 ZÁVĚRY .....	58
Seznam použité literatury	
Seznam použitých zkratk a symbolů	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	

## ÚVOD [2], [3], [4], [5], [6]

Lidstvo se setkává s polymerními látkami prakticky již několik století, například v 1496 byl Evropanům představen kaučuk. Také principy plastikářské technologie jsou staré několik století, kdy ve dvanáctém století byl v Anglii založen cech zpracovatelů rohoviny. Hlavní rozvoj především syntetických polymerů nastal ve čtyřicátých letech 20. století a k rozvoji technologie vstřikování došlo ve druhé polovině 20. století. V současnosti jsou polymery součástí každodenního života a uplatňují se skoro ve všech odvětvích průmyslu (obr. 1).

Polymery přinesly celou řadu výhod oproti doposud používaným materiálům, např. ocel, barevné kovy, keramika atd. Mezi hlavní výhody patří například nízká měrná hmotnost, výborné zpracovatelské vlastnosti, odolnost proti korozi, tlumí rázy a chvění. V současnosti se v technické praxi uplatňuje několik desítek druhů polymerů, kde každý druh má různé výhody, které se uplatňují hlavně při konstrukci a výrobě dílů z polymerů.

Polymerní materiály jsou zpracovávány mnoha technologiemi, jako jsou například vytlačování, vyfukování, lisování, odlévání a především vstřikování. Vstřikování je nejrozšířenější technologií pro zpracování plastů, které umožňuje výrobu dílů s vysokou tvarovou složitostí a dobrou rozměrovou přesností.



Obr. 1 Příklady výrobků z plastů [7], [8], [9], [10].

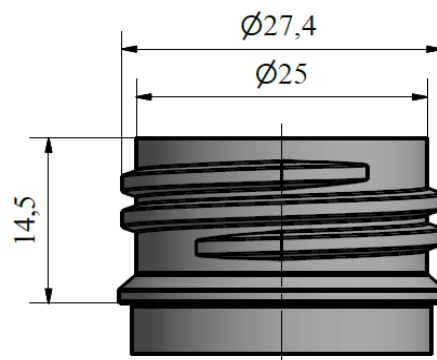
# 1 ROZBOR ZADÁNÍ

Zadanou součástí je plastový uzávěr s dětskou pojistkou, který je určen pro plastové láhve s hrdlem s obchodním označením PCO 1810 (obr. 2). Uzávěr se skládá ze dvou částí – obalu a závitové vložky (obr. 3). Obě části obsahují výstupky, které po zkompletování uzávěru slouží pro funkci dětské pojistky. Tato funkce je především důležitá pro obaly, které jsou určeny pro plnění chemických látek, a tak byla dodržena příslušná bezpečnostní legislativa.

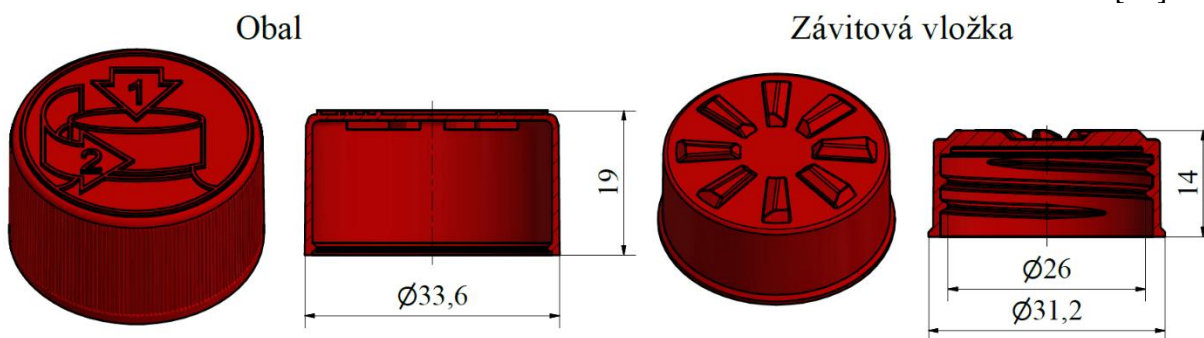
Z hlediska použití je potřeba u součásti zajistit přesnost funkčních rozměrů s příslušnou tolerancí, a to především u závitů, aby nedocházelo k tzv. přeskokování závitů při našroubování uzávěru na láhev a u výstupků obou dílců v dolní části, které po zkompletování plní funkci, aby nedošlo k jejich rozdělení při manipulaci. Dále je potřeba zaručit detaily drážkování po obvodu obalu uzávěru, které slouží k lepšímu uzavírání při použití uzavírací hlavice a schéma návodu pro povolování na horní straně obalu, který by měl být na všech bezpečnostních uzávěrech.

Do uzávěru je taky možné vkládat těsnění ke zvýšení těsnosti proti unikání kapalin z láhve. Těsnění může být zhotoveno z různých materiálů, jakou jsou penefol, teflon, pryž nebo hliníková fólie pro indukční zavírání dle přání zákazníka.

Uzávěr se bude vyrábět z materiálu polypropylen (PP) a předpokládaná velikost roční produkce je okolo 750 000 kusů, kdy bude nutné dodat jednu sérii o 250 000 kusech do 30 dní.



Obr. 2 Hrdlo PCO 1810 [11].  
Závitová vložka



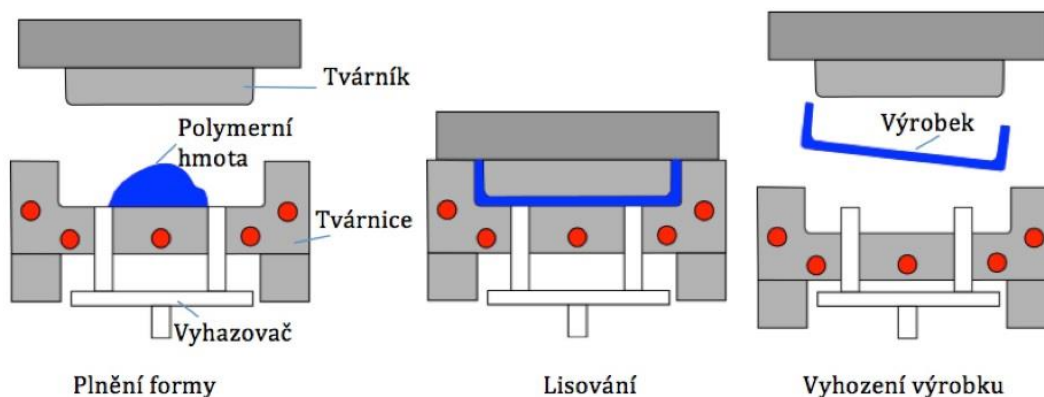
Obr. 3 Model uzávěru.

## 1.1 Varianty řešení [1], [6], [12], [13], [14]

V současné době existuje řada technologických způsobů pro zpracování plastů, které umožňují vyrobit téměř jakýkoliv tvarově složitý dílec. Při volbě technologického a výrobního postupu je potřeba brát ohled na tvar a funkci zadaného výrobku, na zpracovatelských vlastnostech plastů, požadované geometrické přesnosti, výrobní kapacitě a ekonomii procesu. V závislosti mezi plastem vstupujícího do procesu a konečným výsledkem procesu lze tyto technologie rozdělit na tvářecí, tvarovací a doplňkové technologie, které mohou být při výrobě součásti použity samostatně nebo jsou mezi sebou provázány. Tvářecí technologie je způsob zpracování plastů, při kterých dochází k velkému přemísťování částic materiálu. Řadí se zde například technologie vstřikování, lisování a odlévání. Tvarovací technologie se liší od tvářecích především v daleko nižším přemísťování částic a patří sem technologie např. tvarování desek, vyfukování a ohýbání. Doplňkové technologie jsou určeny k úpravě vlastností materiálu před zpracováním (míchání, sušení, předehřev) nebo k finální úpravě výrobků (potiskování, natírání).

V následující části je uvedeno několik technologií zpracování polymerů, především tvářecích, které jsou schopny vyrobit zadaný dílec. Při volbě nejvhodnější technologie budou rozhodující faktory především tvar a přesnost vyrobené součásti a výrobní čas zadané série.

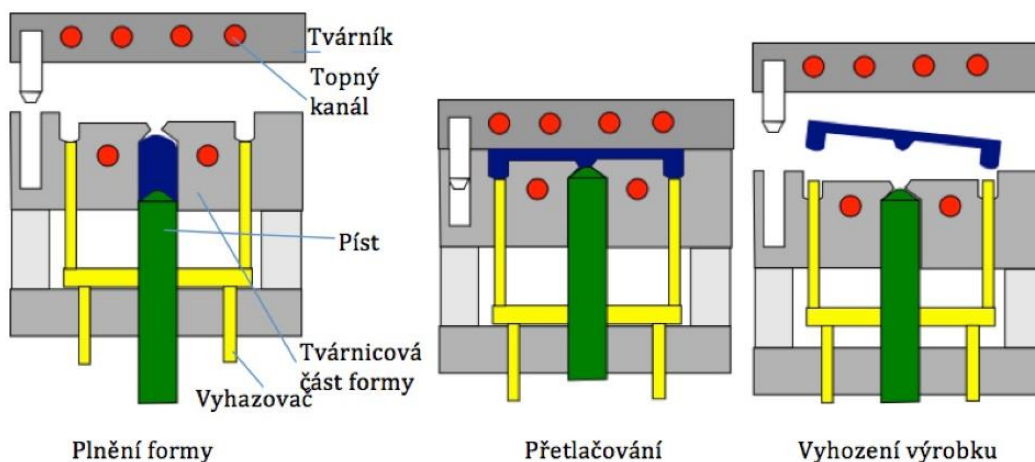
- Lisování plastů – patří mezi nejstarší metody zpracování plastů, především reaktoplastů. Princip metody spočívá v naplnění dutiny vyhřívané formy přesně definovaným množstvím polymerním materiálem ve formě granulí, prášku, tablet nebo drti. Vlivem styku materiálu s vyhřívaným nástrojem dojde k plastikaci a tlakem tvárníku dochází k dokončení plastikace a zaplnění tvarové dutiny. Následuje snížení lisovacího tlaku a pootevření formy kvůli odplynění taveniny. Poté dojde k dolisování a dochází k vytvrzování součásti. Po vytvrzení se forma otevře, výlisek se vyjme z formy a tento cyklus se následně opakuje (viz. obr 4).



Obr. 4 Lisování plastů [12].

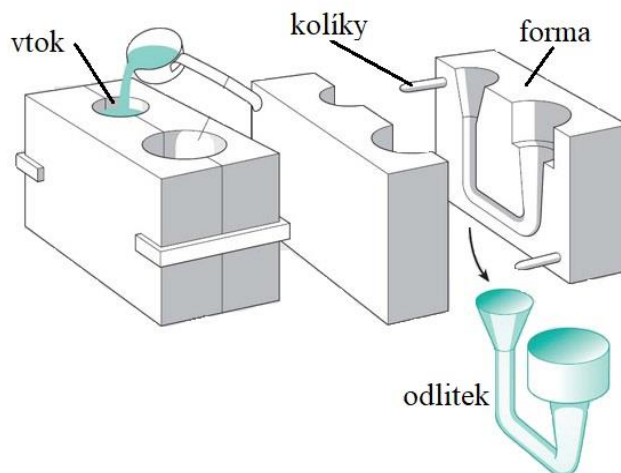
Při lisování termoplastů se výrobní cyklus částečně liší. Nádávkovaná hmota se opět ohřívá vlivem styku materiálu se stěnami nástroje a přechází do plastického stavu. Poté proběhne samotné lisování a následně je výlisek ochlazen ve formě pod teplotu tání materiálu. Nakonec se forma otevře a výrobek je vyjmut. Tato technologie je především určena pro rozměrnější a geometricky jednoduché výrobky. Hlavní nevýhodami lisování plastů jsou dlouhé výrobní časy a odpadní materiál.

- Přetlačování plastů – stejně jako lisování, se přetlačování řadí mezi první technologie zpracování plastů, především reaktoplastů. Na rozdíl od lisování, se materiál nekládá do dutiny formy, ale do pomocné přetlačovací komory formy, kde je materiál převeden do plastického stavu. Poté je hmota pomocí pístu přetlačena skrze vtokovými kanálky do dutiny formy. Nakonec po vytvrzení a otevření formy je výlisek vyjmut pomocí vyhazovačů (viz. obr. 5). Výhodou této metody oproti lisování je možnost vyrobit složitější díly a absence přetoků. Nevýhodou je delší výrobní cyklus a vyšší objem vstupního materiálu, který je navýšen vlivem nutnosti vtokového systému a zůstatku materiálu v přetlačovací komoře.



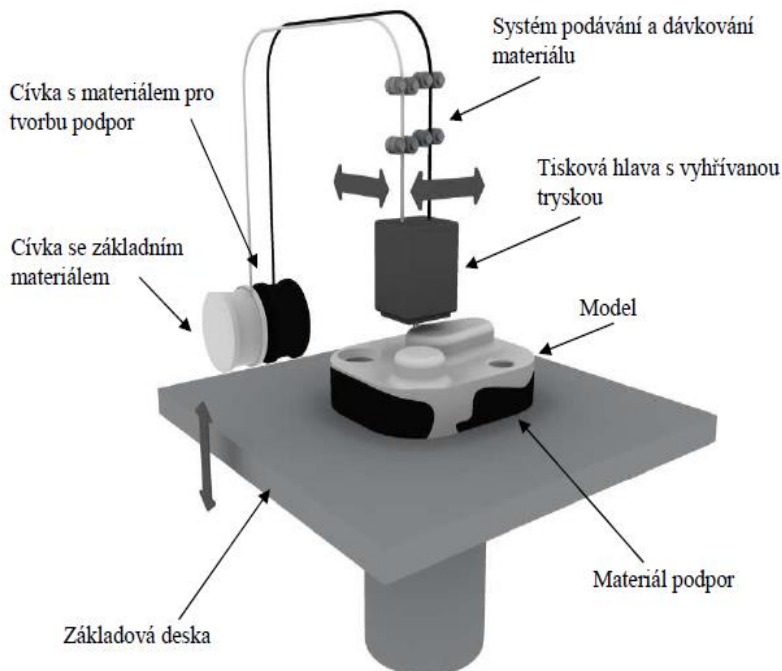
Obr. 5 Přetlačování plastů [12].

- Odlévání – patří mezi nejjednodušší technologie výroby plastových výrobků. Nejčastěji se používá gravitační lití do statických forem, případně rotující nebo odstředivé lití. V případě gravitačního lití (obráz. 6) spočívá jednoduchost, že při výrobním procesu na materiál působí pouze hydrostatický tlak a není potřeba dalších tlakových namáhání. Důležitým faktorem této technologie je, že materiál, převedený do tekutého stavu, musí mít výbornou tekutost a malou viskozitu, aby došlo k zaplnění celé dutiny formy. Z hlediska produktivity je vhodná především pro kusovou a máloseriovou výrobu. Výhodou této metody je konstrukční jednoduchost a nízké výrobní náklady na formu a minimální odpad. Nevýhoda odlévání je hlavně v dlouhém výrobním času dílce, omezené množství vhodných druhů plastů a nízké rozměrové přesnosti dílců.



Obr. 6 Gravitační odlévání plastů [15].

- 3D tisk technologií FDM – řadí se mezi aditivní technologie. Princip metody (obráz. 7) je založen na nanášení nataveného termoplastického materiálu po vrstvách na základovou desku. Základní materiál je ve formě drátu namotaného na cívce a je pomocí systému kladek vtlačován do vyhřívané trysky. Součástí je i materiál pro stavbu podpor (liší se od základního materiálu), které jsou určeny pro stavbu převyslých částí modelu a nedošlo tak k jeho deformaci. Je tedy nutné, aby zařízení mělo obě tyto cívky zabudované. Proces tisku probíhá tak, že je nejdříve nanesen všechny materiál v osách X a Y a poté se základová deska posune o tloušťku vrstvy směrem dolů a opět je nanesen materiál v osách X a Y. Tento výrobní cyklus se neustále opakuje až do vytvoření součásti, která je následně vyjmuta z pracovního prostoru. Obecně 3D tisk je určen hlavně



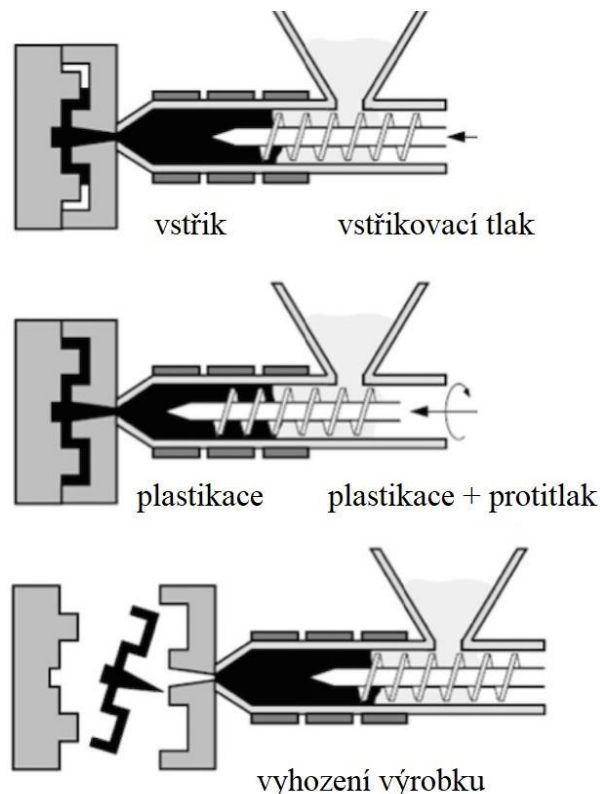
Obr. 7 FDM 3D tisk [1].

pro kusovou výrobu a tvorby prototypů, u kterých se ověřuje jejich funkčnost než se součást zařadí do sériové výroby. Výhoda FDM technologie spočívá v nízké pořizovací ceně zařízení, levného stavebního materiálu a možnost umístění zařízení



do kancelářských prostor. Nevýhodou metody je nižší přesnost vyrobeného dílu, která je dána velikostí trysky, dlouhé výrobní časy a drsnost ploch, které lze odstranit broušením.

- Vstřikování plastů – jedná se o nejpoužívanější technologii pro zpracování plastů. Princip této technologie (obr. 8) začíná nasypáním materiálu (nejčastěji ve formě granulí) do násypky a odtud je odebíráán pracovní částí vstřikovacího stroje, kterým je buď šnek nebo píst, do tavicí komory. Zde za současného působení tepla a tření vzniká tavenina. Poté je tavenina pomocí šneku nebo pístu vstříknuta vysokou rychlostí do uzavřené dutiny formy, kterou zcela zaplní. Kvůli snížení smrštění a rozměrových změn následuje dotlaková fáze. Následně postupným ochlazením plast ztuhne v konečný výrobek, forma se otevře a výstřik je pomocí vyhazovacího systému vyjmut z formy. Hlavní předností této technologie je vysoká produktivita při krátkém výrobním cyklu, které se především uplatní u velkosériové výroby a lze vyrábět tvarově složité výrobky s dobrými tolerancemi rozměrů a s kvalitním povrchem. Negativem metody v porovnání s ostatními technologiemi jsou vysoké pořizovací náklady na formy a taky dlouhé časy její zhotovení.



Obr. 8 Vstřikování plastů [12].

Pro zadaný dílec, z výše uvedených technologií, byla jako nejvhodnější technologie zvolena metoda vstřikování plastů. Byla zvolena na základě velikosti požadované série, kdy vstřikování plastů se dosahuje nízkých výrobních časů a tím velké produktivity a dobrých rozměrových přesností výrobku. Byl brán ohled i na zvolený základní materiál, kdy závěr se bude vyrábět z polypropylenu. Jedná se termoplast a technologií vstřikování se nejčastěji zpracovávají termoplastické materiály.

## 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ [6], [12], [13], [14], [16]

Vstřikování plastů je v dnešní době nejpoužívanější technologie pro výrobu součástí z polymerního materiálu, především termoplastů. Touto technologií lze zhotovit konečné výrobky (krabičky, uzávěry) v jednom pracovním cyklu bez nutnosti dalších dokončovacích operací. Zhotovují se taky polotovary a díly, které jsou určeny pro zkompletování samostatného výrobního celku (světla, součásti přístrojů) nebo pro následné další zpracování (PET předlisky). Metoda vstřikování plastů se vyznačuje krátkým výrobním cyklem a výstřiky mají vysokou rozměrovou i tvarovou přesnost.

Metodika vstřikování začíná přípravou, kdy se na vstřikovací stroj připevní příslušná vstřikovací forma, kterou je nutné vytemperovat na pracovní teplotu a do násypky se nasype základní materiál, který je nejčastěji ve formě granulí. Odtud je odebrán pracovní částí stroje (šnekem nebo pístem) do tavicí komory, kde se připraví dostatečné množství taveniny pro výrobu dané součásti.

Vlastní proces výroby začíná uzavřením vstřikovací formy pomocí uzavírací jednotky vstřikovacího stroje (obr. 9). Zároveň na formu působí uzavírací síla od uzavírací jednotky, která brání otevření formy během fáze vstřikování.

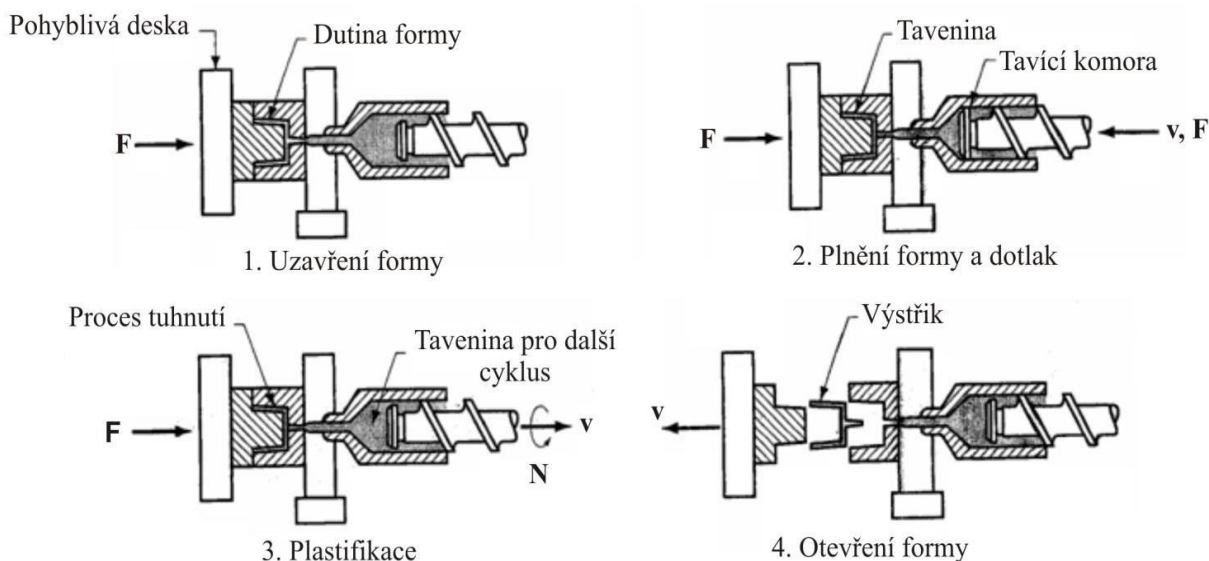
Následuje fáze vstřikování, kdy je ke vtokové vložce formy přisunuta plastikační jednotka, která je zakončená tryskou. Tavenina je následně axiálním pohybem vstřikována do dutiny formy, kde zaplní celou dutinu formy a zaujme tak její tvar.

Protože vlivem ochlazování roztavený plast zmenšuje svůj objem (smrštění), což má za následek mírné deformace výstřiku, tak po skončení vstřikovací fáze začíná fáze dotlaku. Tato fáze doplňuje do nezchladlých míst taveninu a kompenzuje tak částečně smrštění a rozměrové změny výrobku.

Po dokončení fáze dotlaku začíná příprava taveniny polymeru pro další vstřikovací cyklus, která se jmenuje plastikace. Při současném otáčení šneku a jeho pohybem dozadu v plastikační jednotce dochází k tavení materiálu a jeho přesunu před čelo šneku.

Poté nastane fáze chlazení, kdy dojde ztuhnutí materiálu v konečný výrobek. Tato část cyklu trvá obvykle nejdelší dobu.

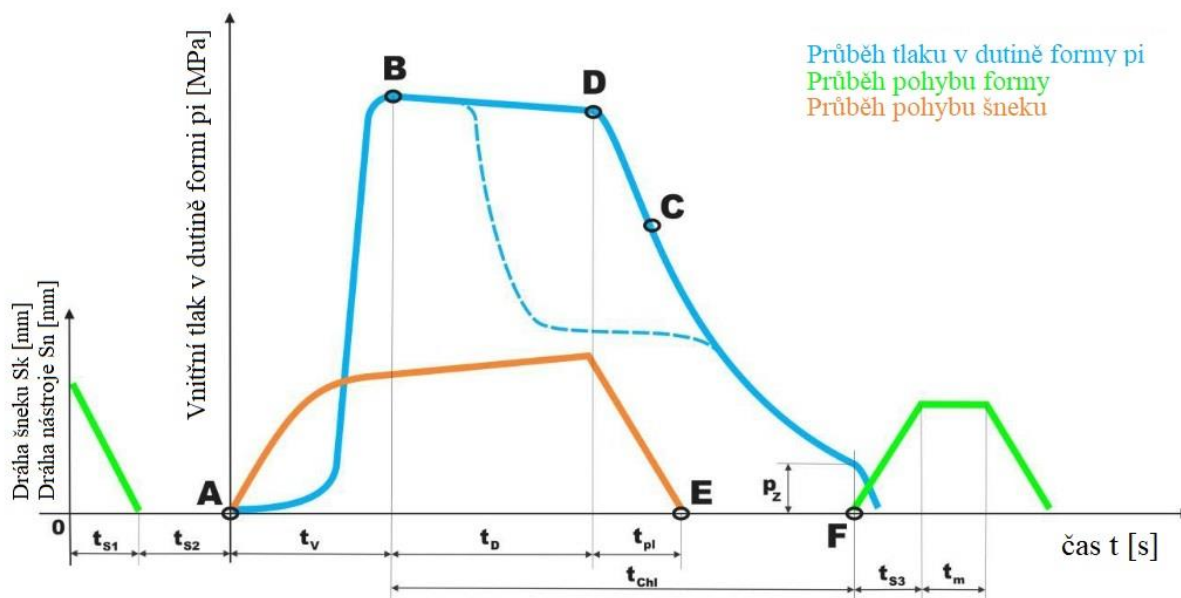
V konečné fázi dojde k otevření formy a vyhození výstřiku pomocí vyhazovacího systému z formy. Následně se celý proces opakuje.



Obr. 9 Princip vstřikování plastů [17].

## 2.1 Vstřikovací cyklus [2], [6], [13], [18]

Vstřikovací cyklus je tvořen přesně definovanými postupovými fázemi, kdy na jeho konci vzniká výrobek zhotovený technologií vstřikování. Pro detailní popis vstřikovacího cyklu je nutné stanovit jeho počátek, za který se většinou považuje bod, který odpovídá impulsu k uzavření formy. Pro popis vstřikovacího tlaku je zvolena jedna z možností, a to časová závislost vstřikovacího tlaku v dutině vstřikovací formě (obr. 10).



Obr. 10 Průběh vstřikovacího cyklu [13].

Za počátek vstřikovací cyklu je považován bod, kdy je forma otevřená a dutina formy prázdná. V nulovém čase dostane stroj impuls k zahájení cyklu a během časového úseku  $t_{s1}$  dojde k uzavření formy a následuje časový úsek  $t_{s2}$  – přisunutí vstřikovací jednotky k formě. Časové úseky  $t_{s1}$  a  $t_{s2}$  se označují jako strojní časy. Následuje fáze s označením  $t_v$  – doba vstřikování nebo doba plnění ohraničená body A a B a jedná se o dobu, kdy je forma plněna taveninou pomocí axiálního tlaku od šneku. Dále cyklus pokračuje fází chlazení  $t_{chl}$ , která trvá až do okamžiku otevření formy a vyjmutí dílu. Během ochlazování dochází ke smrštění materiálu a zmenšení jeho objemu, a to má za následek tvorbu propadlin a staženin. Tyto nedostatky se dají částečně kompenzovat dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy neboli dotlakem. Tato doba se jmenuje doba dotlaku  $t_d$  a končí v bodě D. Bodem C je označen okamžik, kdy dojde ke ztuhnutí hmoty ve studeném vtokovém kanálku. Po skončení dotlaku pokračuje cyklus plastikací nové dávky materiálu. Tento úsek se označuje  $t_{pl}$  a končí v bodě E. Během ochlazování dochází k poklesu tlaku ve formě až na hodnotu tlaku  $p_z$ , který se nazývá zbytkový tlak. Při tomto tlaku se nachází výstřik těsně před otevřením formy. Po ztuhnutí a zchlazení výstřiku dojde v bodě F k otevření formy a vyhození vyrobené součásti. Tento úsek je označen jako strojní čas  $t_{s3}$ . V případě, že vstřikovací stroj je vybaven manipulátorem, tak je v cyklu vymezena manipulační doba  $t_m$ , které je určena pro vyjmutí dílce manipulátorem nebo má univerzální využití například pro vkládání kovových záložek do formy nebo k očištění formy.

Ve vstřikovacím cyklu lze v rámci časového rozdělení rozlišit následující časové úseky:

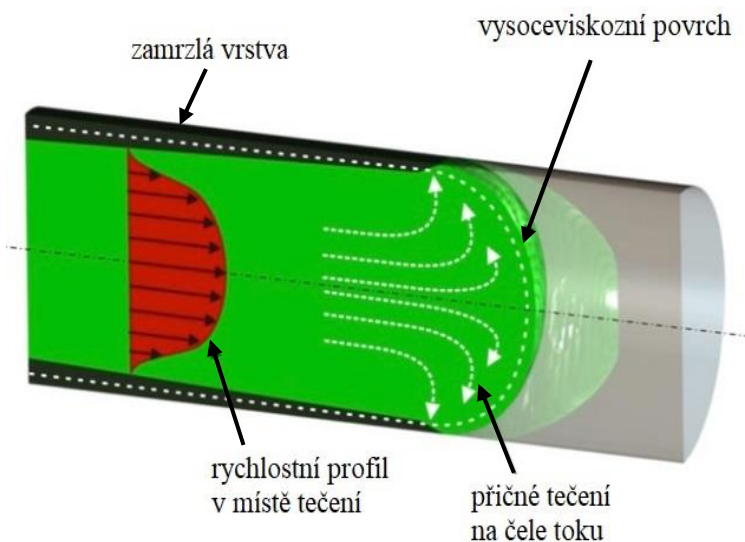
- Strojní časy – zahrnuje se zde čas na uzavření vstřikovací formy  $t_{s1}$ , případně čas na přisunutí a odsunutí vstřikovací jednotky  $t_{s2}$  a čas na otevření vstřikovací formy  $t_{s3}$ . Všechny tyto strojní časy jsou závislé na rychlosti pohybující se formy a dráze, kterou musí forma urazit. Délka dráhy otevření formy je určena rozměry výstřiku. Tato dráha musí být ve směru otevření dostatečně dlouhá, aby nedošlo ke vzpříčení výstřiku ve formě nebo aby byl dostatečný prostor, pokud bude použit manipulátor. V současnosti, kdy je



snaha zkracovat strojní časy na minimum, se zvyšuje rychlost pohybů vstřikovacího stroje. Rychlost pohybu formy není po celé délce dráhy konstantní, ale na počátku se forma pohybuje velkou rychlostí a těsně před dosednutí formy dojde k snížení rychlosti, aby nedošlo k destrukci formy vlivem nárazu. Při otevírání formy funguje tento princip velmi podobně, kdy nejprve je rychlost pohybu formy vysoká a před dojezdem formy na doraz se rychlost snižuje, aby vyhazování výstřiků z formy probíhalo pomalu. U strojů střední velikosti dosahuje součet všech stojních časů jen několika málo sekund.

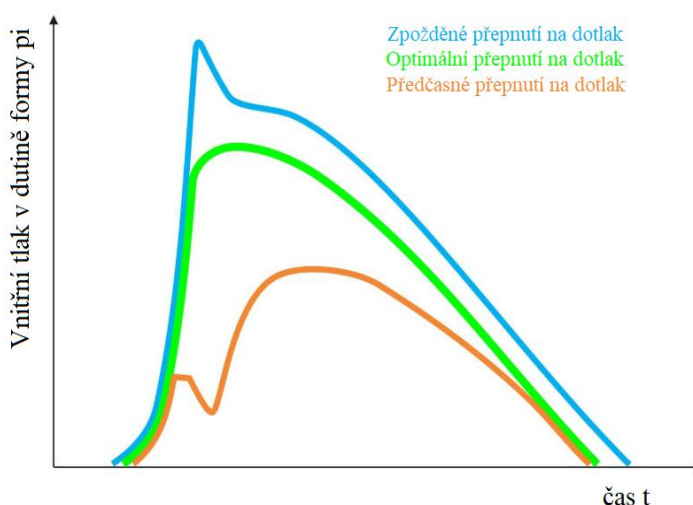
- Doba vstřikování – neboli doba plnění  $t_v$  a je závislá na rychlosti vstřikování neboli axiální rychlosti pohybu šneku. Rychlost vstřikování je závislá na teplotě taveniny, vstřikovacím tlaku, teplotě formy a tloušťce stěny výrobku. Jedná se hlavní část vstřikovacího cyklu, která významně ovlivňuje vlastnosti hotového dílce. Doba vstřikování by měla trvat co nejkratší dobu, protože při styku taveniny s formou dochází k jejímu ochlazení a ztrácí svou tekutost a mohlo by dojít k zatuhnutí čela taveniny plastu čímž by nebyla naplněna celá dutina formy a vzniknul by nedostříknutý dílec. Doba plnění se pohybuje v rozmezí zlomku sekundy až po několik sekund v závislosti na velikosti výstřiku.

Při procesu plnění je důležité, aby tavenina neproudila do dutiny formy volným tokem, ale laminárním tokem, tj. postupné plnění formy. Rychlostní profil laminárního toku taveniny a jeho vliv na plnění dutiny formy je znázorněn na obrázku 11. Protože teplota formy je mnohem nižší než teplota taveniny, tak při styku taveniny se stěnou formy dochází k jejímu ztuhnutí a vytvoří tenkou vrstvu na povrchu formy, která má funkci tepelného izolantu. Uvnitř tloušťky stěny je potom plastické jádro s vysokou tekutostí, které umožňuje další průtok roztaveného plastu do formy až do úplného naplnění dutiny.



Obr. 11 Rychlost toku taveniny [13].

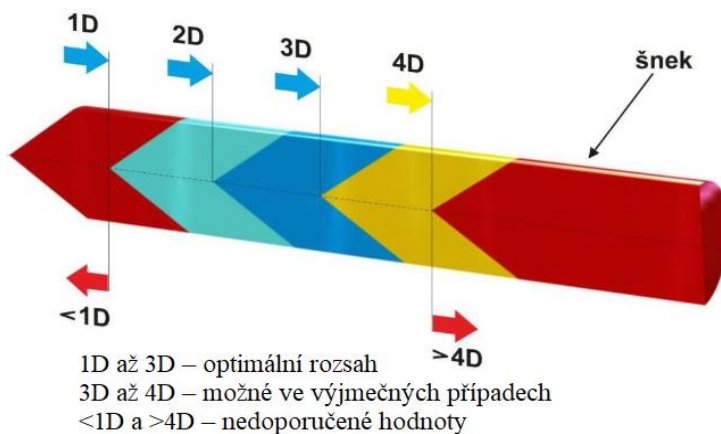
- Doba dotlaku – ve vstřikovacím cyklu je označena jako  $t_d$ . Tato fáze cyklu nastává ihned po ukončení doby vstřikování. Dotlak plní funkci snížení tlaku uvnitř dutiny formy, aby nedošlo po naplnění dutiny ke stlačování hmoty a tím průdkému nárůstu tlaku a náhlému poklesu rychlosti. Pokud nedojde ke snížení tlaku včas, tak to může vést ke zvýšení tlaku ve formě s následně k jejímu poškození, ke zvětšení rozměrů a hmotnosti výstřiku nebo krátkému pootevření formy v dělicí rovině, tzv. k dýchnutí,



Obr. 12 Vliv doby přepnutí na průběh tlaků [13].

kteřé způsobí přetoky na výstřiku v dělicí rovině. Je-li přepnutí na dotlak předčasné, tak to může vést k výrobku, který není dostříknutý. Na obrázku 12 je znázorněn vliv doby přepnutí přepnutí vstřikovací tlaku na dotlak. Doba dotlaku je závislá především na průřezu vtokového kanálu, teplotě taveniny a teplotě formy. Časový interval dotlaku se zpravidla pohybuje v rozměni několika sekund až desítky sekund.

- Doba plastikace – ve sřřikovacím cyklu označena jako  $t_p$ . Jedná se o čas, který je potřebný k vytvoření homogenní dávky taveniny z plastového granulátu a jeho dopravení před čelo šneku pro další cyklus. Granulát se přeměňuje na taveninu za působení topných těles, které jsou umístěny po vnějším obvodu tavící komory, a spolu se třením šneku při jeho otáčení a pohybu směrem dozadu. Během této fáze je důležité, aby tavenina dosáhla požadované teploty, protože tato teplota ovlivňuje dobu vstřikování, viskozitu materiálu, dobu dotlaku a dobu chlazení. Velikost dávky musí zajistit naplnění tvarové dutiny formy, naplnění vtokového systému a kompenzovat změnu objemu tuhnoucí hmoty vzniklou vlivem smrštění. Proto se velikost vstřikovaného objemu dávky standartně navyšuje o 5 až 15 % objemu výstřiku. Kvůli dlouhé době vstřikování a případně nebezpečí vzniku bublin ve sřřikovaných dílech by rozsah dávky (zdvih dávky) neměl překročit čtyř násobek průměru šneku (obr. 13).



Obr. 13 Rozsah objemu dávek u vstřikovacích strojů [13].

- Doba chlazení – časově nejdělsí fáze vstřikovacího cyklu. Fáze chlazení ( $t_{chl}$ ) začíná při prvním styku taveniny s povrchem formy, pokračuje během fáze dotlaku a plastikace až do úplného ztuhnutí taveniny v dutině formy na zvolenou teplotu odformování, která je pro každý polymerní materiál různá a pohybuje se v doporučeném intervalu. Z ekonomické hlediska je snaha zkrátit dobu chlazení na minimum. Pro zkrácení doby chlazení se využívá účinné chlazení hlavně v místech, kde dochází k nejpomalejšímu ochlazování a tímto postupem lze ušetřit až 40 % celkových nákladů. Na celkovou dobu chlazení má především vliv tloušťka stěny výstřiku, druh polymerního materiálu, teplota taveniny, teplota formy a teplota zhotoveného dílce v okamžiku vyjímání z formy.
- Vyhození výstřiku – závěr výrobního cyklu, kdy dojde k otevření vstřikovací formy a vyhození výrobku. Pro bezproblémové vyhození výstřiku z formy je nutné, aby dráha rozevření formy byla dostatečně dlouhá a nedošlo k vzpříčení v dělicí rovině, případně aby bylo dost prostoru při použití manipulátoru. Jak již bylo uvedeno výše, doba této části cyklu (strojní čas  $t_{s3}$ ) závisí na rychlosti pohybů vstřikovací stroje ve vztahu dráze, kterou musí forma urazit.

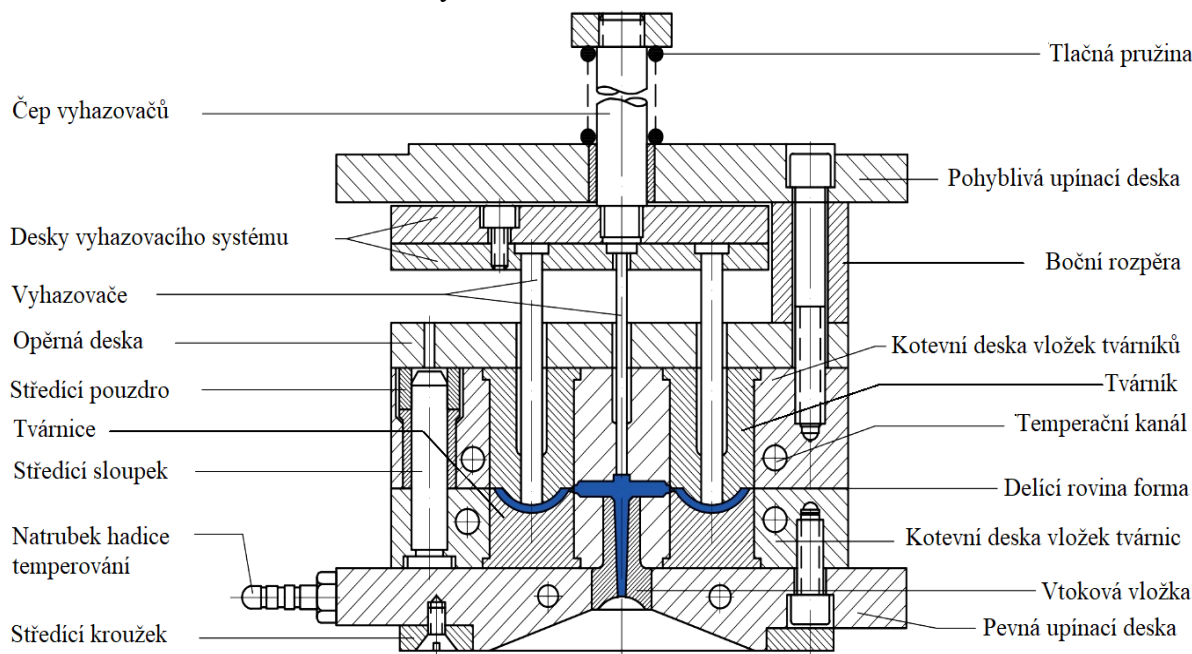
## 2.2 Vstřikovací forma [2], [6], [16], [19], [20], [21]

Vstřikovací forma je komplexní výrobní nástroj pro každou součást vyrobenou technologií vstřikování plastů, který se upíná na vstřikovací stroj. Její hlavní funkcí je, že v dutině vytváří požadovaný tvar výstřiku z taveniny plastu, který již nemusí být dále opracováván. Po celou dobu své životnosti musí forma splňovat vysoké požadavky – odolávat vysokým tlakům, zajistit požadovaný rozměr a kvalitu výstřiku, snadné vyjmutí výstřiku atd. Na obrázku 14 je popis základní dvoudeskové formy.

Rám formy je tvořen z několika desek, které jsou vyrobeny z nástrojových ocelí. Tyto desky jsou často normáliemi, které lze zakoupit od specializovaných firem jako jsou Hasco, Meusburger, DME atd. Mezi deskou tvárníků a deskou tvárnice se nachází dutina pro vstřikování materiálu. Mezi těmito deskami je dělicí rovina, která zajišťuje otevírání formy a vyhazování plastových dílců. Samotná dutina formy může být vytvořena pouze z desky tvárníku a z desky tvárnice, ale častěji jsou vytvořeny tvarové vložky, které jsou do těchto desek vloženy. Tvarové vložky jsou často využívány u vícenásobných forem, protože jejich výroba je jednodušší než zhotovení několika složitých dutin do tvarových desek, které mohou být i nějakých v případech téměř nevyrobitelné. Další výhodou tvarových vložek je jejich jednodušší opravitelnost a možnost jejich zhotovení z kvalitnějších materiálů, než je rám formy. V případě složitých výstřiků je možnost do tvarových vložek ještě vkládat jádra, které ještě více zjednoduší výrobu. V upínacích deskách pevné i pohyblivé části formy jsou umístěny středící kroužky, které jsou určeny pro přesné upnutí vstřikovací formy do stroje. Na pevné části formy je kroužek také určen k centrování trysky vstřikovací jednotky stroje. Mezi bočními rozpěrami jsou umístěny desky vyhazovacího systému s vyhazovači, které jsou spojeny s vyhazovacím systémem stroje. Tím je zajištěn posuvný pohyb vyhazovacího systému. Přes nátrubek hadice je do formy přiváděno temperační médium a systémem kanálků ve formě je zajištěna její teplota. Pro přesné zajištění přesné polohy mezi pevnou a pohyblivou částí formy jsou určeny vodící elementy (středící pouzdra, středící sloupky), které jsou nejčastěji umístěny v tvarových deskách.

V současnosti existuje řada konstrukčních variací vstřikovacích forem, které lze rozdělit do těchto skupin:

- dle násobnosti formy na jednonásobné a vícenásobné,
- dle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třideskové, čelistové, vytáčecí, etážové,
- dle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a se vstřikem do dělicí roviny.



Obr. 14 Základní popis vstřikovací formy [20].

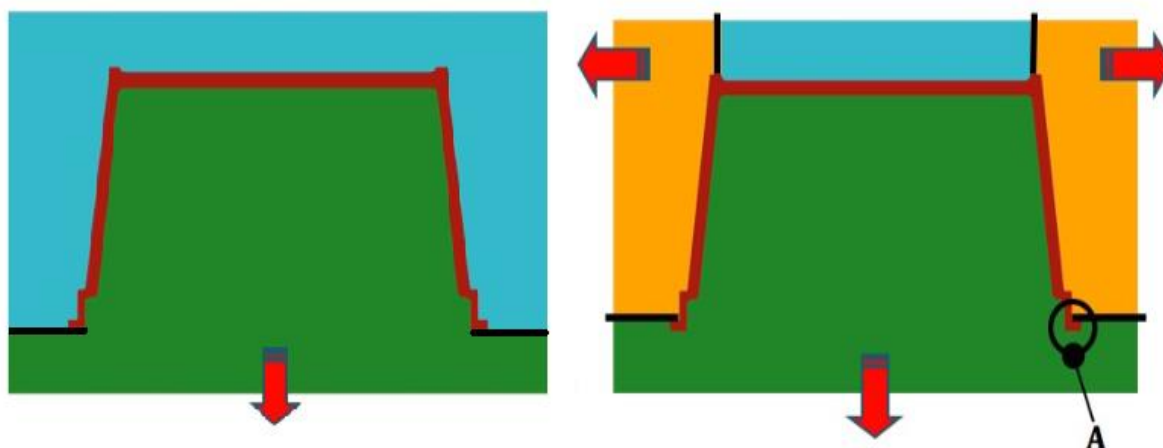
### 2.2.1 Dělicí rovina [18], [19]

Dělicí rovina je kontaktní plocha mezi pevnou a pohyblivou částí vstřikovací formy, která má rovinný nebo obecný tvar. Hlavní účel dělicí roviny je kvalitní utěsnění dutiny formy tak,

aby nedocházelo k úniku roztaveného plastu a vniku tzv. zástříků, avšak mírná stopa od dělicí roviny je na výstřiku vždy přítomna.

Poloha dělicí roviny by se měla umísťovat do míst, kde nejsou přítomny funkční a vzhledové plochy výstřiku, kdy by mohla i mírná stopa ovlivnit funkci výrobku. Dalším faktorem, který ovlivňuje polohy dělicí roviny, je přítomnost různých tvarů na výstřiku jako je žebrování, otvory, výstupky atd., kdy je nutné zaručit bezproblémové odformování vstřikovaného dílce při otvírání formy. Její správný návrh taky rozhoduje o budoucí konstrukci formy.

Na obrázku 15 jsou znázorněny dvě varianty dělicí roviny (černá čára) u jednoduchého dílce. V případě obrázku vlevo, je dělicí rovina navržena na dosedací ploše. Tím je zajištěno, že pro vyhození výstřiku bude potřeba pouze axiální směr pohybu formy a tím jednodušší konstrukce formy. Na pravém obrázku je dělicí rovina umístěna nad lem výstřiku. Zde pro bezproblémové odformování výstřiku je zapotřebí axiálního i radiálního otevírání formy, a to má za následek složitější konstrukci nástroje.



Obr. 15 Ukázka volby dělicí roviny [18].

### 2.2.2 Násobnost formy [18], [20], [21]

S výrobou vstřikovací formy jsou obvykle spojeny vysoké finanční náklady na její zhotovení, proto je vhodné vyrábět několik výstřiků najednou. Při výrobě několika součástí najednou se sníží časová náročnost výroby požadované série, která se následně projeví ve finančních nákladech. Při volbě optimální násobnosti formy je potřeba zohlednit několik faktorů:

- charakter a přesnost výstřiku,
- velikost a kapacitu vstřikovacího stroje,
- požadované množství a termín dodání,
- ekonomiky výroby.

V případě geometricky složitých a rozměrných výstřiků není příliš vhodné používat vícenásobné formy, protože to vede ke konstrukční složitosti formy a nárůstu její rozměrů. Aby byla zajištěna kvalita a přesnost výstřiků u vícenásobných forem, je obecně doporučeno používat násobnost co nejnižší kvůli nerovnoměrným technologickým podmínkám.

Určení násobnosti formy lze posoudit následujícími způsoby:

- Podle vstřikovací kapacity stroje:

$$n_1 = \frac{0,8 \cdot Q_v}{(V + V_k)} [-], \quad (2.1)$$

Kde:  $Q_v$  – vstřikovací kapacita stroje [ $\text{cm}^3$ ],

$V$  – objem výstřiku [ $\text{cm}^3$ ],

$V_k$  – objem vtokového zbytku [ $\text{cm}^3$ ].

- Podle plastikačního výkonu stroje:

$$n_2 = \frac{Q_p \cdot t_c \cdot 1000}{(V + V_k) \cdot 3600 \cdot \rho} [-], \quad (2.2)$$

Kde:  $Q_p$  – plastikační výkon stroje [kg/hod],  
 $t_c$  – doba vstřikovacího cyklu [s],  
 $\rho$  – hustota [g/cm<sup>3</sup>].

- Podle uzavírací síly stroje:

$$n_3 = \frac{800 \cdot F_u}{p_i \cdot S} [-], \quad (2.3)$$

Kde:  $F_u$  – uzavírací síla [kN],  
 $p_i$  – tlak v dutině formy [MPa],  
 $S$  – Plocha průmětu jednoho výstřiku [mm<sup>2</sup>].

- Podle dle požadovaného termínu dodání produkce:

$$n_T = \frac{N \cdot t_c}{t_p \cdot K \cdot 3600} [-], \quad (2.4)$$

Kde:  $N$  – požadovaná velikost série [ks],  
 $t_p$  – doba produkce [hod],  
 $K$  – koeficient využití času (0,7–0,9) [-].

- Podle ekonomického hlediska:

$$n_5 = \sqrt{\frac{t_c \cdot K_p \cdot N_c}{3600 \cdot K_f}} [-], \quad (2.5)$$

Kde:  $K_p$  – provozní náklady formy [Kč],  
 $K_f$  – míra amortizace formy [%],  
 $N_c$  – životnost formy [ks].

Při určení násobnosti formy se bere především ohled na dostupný vstřikovací stroj, proto jako optimální násobnost formy se volí nejnižší hodnota ze vztahů 2.1, 2.2 a 2.3 a tato násobnost by měla být shodná s hodnotou ze vztahu 2.4. V případě, že tato hodnota je nižší než termínová násobnost  $n_T$ , tak je nutné zvolit jiný vstřikovací stroj s vyššími parametry kapacity a vstřikovací síly. Ekonomická násobnost  $n_5$  jen upřesňuje celou úvahu.

## 2.3 Vyhazovací systém [16], [18], [19], [21], [22]

Úkolem vyhazovacího systému je odformování ztuhlého plastového dílce a případného vtokového zbytku ze vstřikovací formy. Bývá nejčastěji umístěn na pohyblivé straně formy, protože při chladnutí výstřiku nastává jeho smrštění a dochází tak k přilnutí ke tvárníku. Vyhazovací systém musí zajistit rovnoměrné vysunutí výstřiku, aby se zamezilo jeho poškození. Protože vyhazovače většinou zanechávají stopy na dílci, je snaha je umístit do míst, kde stopa neovlivní jeho funkci. Kromě vyhazování výstřiků tento systém umožňuje v některých případech i odvzdušnění dutiny.

Pohyb vyhazovacího mechanismu bývá nejčastěji aktivován při otevření formy nárazecím kolíkem upevněným na vstřikovací stroji nebo hydraulickým nebo pneumatickým zařízením vstřikovacího stroje. Zpětný pohyb je pak zajištěn vratnými kolíky, pružinami nebo speciálním mechanickým, vzduchovým nebo hydraulickým zařízením.

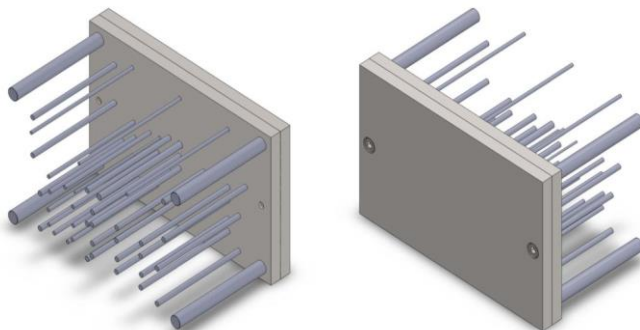
Vyhazovací systémy lze rozdělit na mechanické, vzduchové a speciální vyhazování (např. vytáčení systém pro díly se závity).



### 2.3.1 Mechanické vyhazování [18], [19], [21], [22]

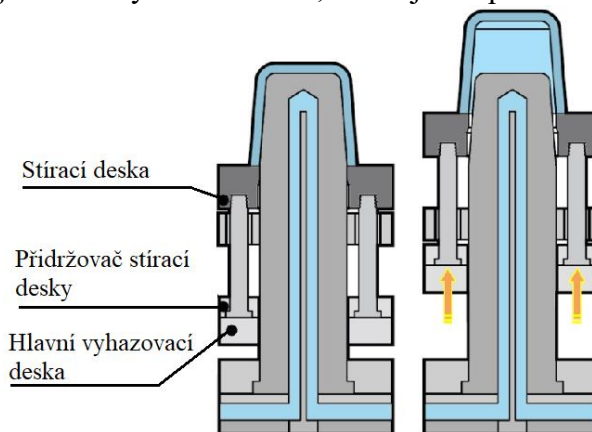
Jedná se o nejrozšířenější způsob vyhazování, který může být řešen pomocí vyhazovacích kolíků, stírací deskou, dvoustupňové atd.

- Vyhazovací kolíky – nejjednodušší a nejlevnější způsob vyhazování. Nejčastěji jsou upnuty mezi dvěma vyhazovacími deskama a jsou uloženy kolmo k dělicí rovině. Kolíky mohou mít různý tvar (obdélníkový, kruhový, speciální průřez), průměr a délku. Místa pro umístění vyhazovacích kolíků jsou zvoleny na základě tvaru dané plochy a neměly by zasahovat do funkčních nebo pohledových ploch, protože po nich zůstávají stopy. Není je vhodné používat pro tenkostěnné výstřiky, protože mohou způsobit jejich deformaci. Způsob rozmístění vyhazovacích kolíků je zobrazen na obrázku 16.



Obr. 16 Rozmístění vyhazovacích kolíků [22].

- Vyhazování pomocí stírací desky – při vyhazování dochází ke stírání výstřiku po celém jeho obvodu. Výhodou tohoto systému je velká vyhazovací síla, která je rozprostřena rovnoměrně po celé stykové ploše s výrobkem a dochází tak k minimálním deformacím a nezachává stopy po vyhazování na výstřiku. Využívá se hlavně u tenkostěnných výrobků, kde by kolíkové vyhazovače způsobily deformaci nebo u rozměrných součástí, kde je potřeba velká vyhazovací síla. Princip funkce stírací desky je zobrazen na obrázku 17. Vlevo na obrázku je systém v zadní pozici a vpravo je systém v pohybu do přední pozice.

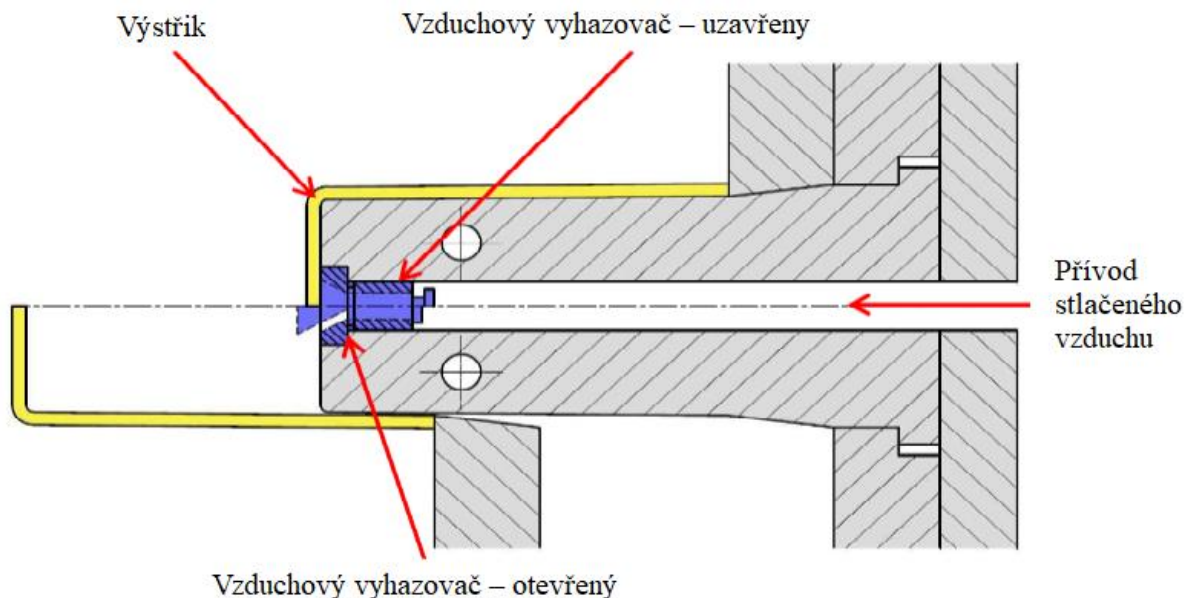


Obr. 17 Princip funkce stírací desky [19].

- Šikmé vyhazování – speciální způsob mechanického vyhazování pomocí šikmých kolíků. Kolíky nejsou umístěny kolmo k dělicí rovině, ale pod různými úhly. Tento systém se využívá hlavně u malých a středně velkých plastových dílců, které mají mělký vnitřní nebo vnější zápich.
- Dvoustupňové vyhazování – kombinace dvou vyhazovacích systémů, které jsou mezi sebou provázány. Princip systému je založen na rozdílném časovém a délkovém rozdělení zdvihu. Využívá se hlavně pro velké tenkostěnné výstřiky, které často musí být odformovány na několik kroků.

### 2.3.2 Vzduchové vyhazování [16], [18], [23]

Činnost vzduchového vyhazování je založeno na přivedení stlačeného vzduchu mezi líc formy a vstřikovaný díl (obr. 18). Tím je umožněno rovnoměrné oddělení dílce od tvárníku a nevznikají stopy po vyhazovačích. Do formy je vzduch přiváděn přes ventil (talířový, jehlový) nebo přes kolíky. Systém je ovládán buď mechanismem formy, nebo vstřikovacího stroje. Pneumatické vyhazování je hlavně určeno pro velké tenkostěnné výstřiky ve tvaru nádob, které musí být při vyhazování odvdušněny, aby nedošlo k jejich deformaci. Často se vzduchové vyhazování kombinuje s mechanickým vyhazováním. Nevýhoda vzduchového vyhazování spočívá v přesné výrobě vstřikovací formy hlavně v rozvodech vzduchu.



Obr. 18 Činnost vzduchového vyhazovače [23].

### 2.3.3 Vyhazovací systémy pro výstřiky s vnitřními závity [16], [18]

Při výrobě výstřiků s vnitřním závitem nastávají velké problémy při jejich odformování. Pokud nejsou splněny určité podmínky pro konstrukci výstřiku a zvolen správný vstupní materiál, nelze plastové díly se závitem vyhazovat běžným způsobem a je nutné zajistit pohon závitového trnu a ze závitu je vyšroubovat. To má za následek větší složitost formy a tím jsou spojeny vyšší finanční prostředky na její pořízení. Zde je uvedeno několik způsobů, kterými lze plastové výrobky vyhazovat:

- Pomocí stírací desky – jedná se stejný princip mechanismu jako bylo uvedeno v kapitole 2.3.1. Aby se mohl tento systém použít, je potřeba výstřiky vyrábět z pružných plastů. To zaručí závitů mělkost a umožní dostatečné protažení. V tabulce 1 je uvedeno několik materiálů s jejich maximálním protažením.

Tab. 1 Tabulka plastů pro výstřiky se závity s povoleným protažením [18].

Materiál	Max. protažení $\frac{D-d}{D} \cdot 100$	Materiál	Max. protažení $\frac{D-d}{D} \cdot 100$
ABS	8 %	LDPE	21 %
SAN	nevhodný	HDPE	6 %
PS	nevhodný	PP	5 %
POM	5 %	PC	nevhodný
PA	9 %	PPO	nevhodný

Pozn. D – velký průměr závitu [mm], d – malý průměr závitu [mm].

- Pomocí náhonu trnu šroubem a maticí – nejpoužívanější systém pro náhon závitového trnu. Pohyb trnu je zajištěn otáčením šroubu nebo matice přes ozubené kola. Tato konstrukce může mít několik uspořádání. Jedna z variant je pevně uložený trn v pohyblivé části formy, který zabíhá do otočně uložené matice v pohyblivé části formy. Od matice je pak rotační pohyb přenášen na vytáček závitový trn. Šroub může být upěvněn v ose formy nebo i mimo osu. Druhá varianta je, kdy je otočný šroub a pevná matice. Výhodou tohoto uspořádání je, že se může nacházet v pevné i pohyblivé části formy. Celkově u náhonu šroubu s maticí je nevýhoda jeho rozměrnost, kdy může způsobit problém s umístění funkčních tvarů a jiných částí vstřikovací formy.

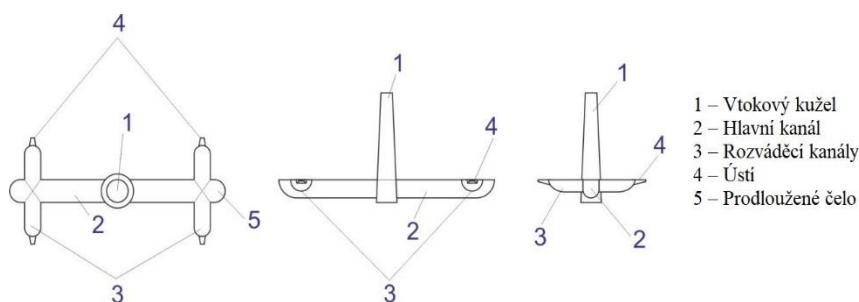
- Pomocí náhonu trnu ozubenou tyčí s pastorkem – další často používaný náhon pro vytažení závitových trnů. Princip je založen na připevněné ozubené tyči k pevné části formy a při otevírání a zavírání formy tyč otáčí pastorkem, který je upevněn v pohyblivé části formy. Rotační pohyb je pak dále přenášen ozubenými koly na vytáčecí trny formy. Tento systém je vhodný hlavně pro vícenásobné formy.
- Pomocí náhonu trnu s elektromotorem – jedná se o přídavný systém s převody. Elektromotor pomocí zpřevodovaných kol otáčí závitovými trny. Velkou výhodou tohoto systému je neomezený počet otáček a tím možná značná délka vyráběného závitu.

## 2.4 Vtoková soustava [18], [19], [22], [24]

Rozvod taveniny od vstřikovací stroje do dutiny formy je zajištěn vtokovou soustavou, která je tvořena systémem kanálků a ústím vtoků. Hlavním úkolem vtokové soustavy je naplnění tvarové dutiny taveninou v co nejkratším čase a tím se ovlivňuje výsledná kvalita výstřiků. V praxi se používají dva druhy vtokových soustav, kterými jsou studené a vyhřívané soustavy. O volbě vtokové soustavy rozhoduje tvar a velikost součásti a velikost série. Ta pak ovlivňuje konstrukční návrh formy a ekonomiku výroby.

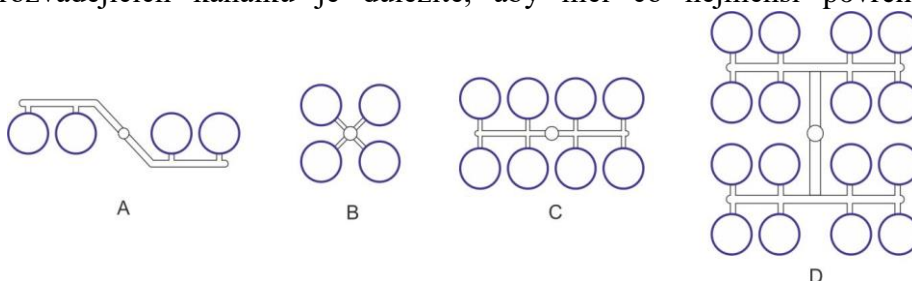
### 2.4.1 Studená vtoková soustava [18], [19], [21], [22]

Studené vtoky jsou nejčastěji používány u malosériové výroby, protože při použití vyhřívané vtokové soustavy by se nemusely vrátit finanční náklady spojené s pořízením formy. Jedná se o typ vtoků a rozváděcích kanálků, které společně tuhnou s výstřikem ve formě a poté jsou spolu vyhozeny z formy. Tavenina nejdříve prochází vtokovým kuželem do hlavního kanálu (obr 19). Odtud je následně vedena rozváděcími kanálky a přes ústí vtoku proudí do dutiny formy. Důležité je zhotovit prodloužení na čele hlavního kanálu, protože v tomto místě se chladnější část taveniny zachytí a neproudí tak do ústí vtoku, kde by mohla způsobit problémy s plněním dutiny.



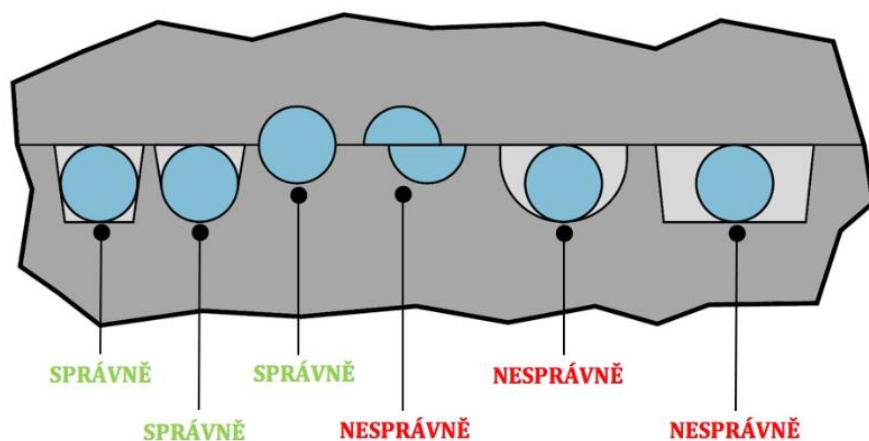
Obr. 19 Studený vtok [22].

Při návrhu rozměrů a uspořádání rozváděcích kanálků je nutné, aby dráha toku byla co nejkratší a stejně dlouhá ke všem dutinám pro zajištění rovnoměrného plnění. Dále průřez kanálků měl být dostatečně velký, aby jádro taveniny bylo v plastickém stavu, které umožní dotlakovou fázi. V případě nerovnoměrného uspořádání je nutné odstupňovat průřez kanálku pro zachování stejné rychlosti taveniny. Na obrázku 20 je zobrazeno několik variant uspořádání vtoků. Dále při návrhu průřezu rozváděcích kanálků je důležité, aby měl co nejmenší povrch. Nejoptimálnější je kruhový průřez kanálku rozdělen do obou polovin, ale s tím je spojeno riziko nepřesného průřezu vlivem obrábění. Proto je snaha zhotovovat průřezy blízké kruhu. To lze docílit zhotovením úkosů v kanálku a zaoblením všech hran. Na obrázku 21 je zobrazeno několik provedení průřezů rozváděcích kanálků.



Obr. 20 Varianty uspořádání vtoků [22].

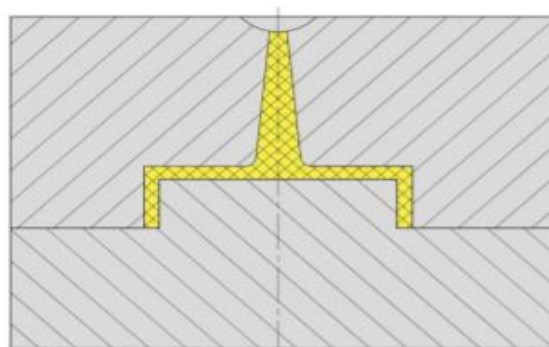




Obr. 21 Porovnání provedení rozváděcích kanálků [19].

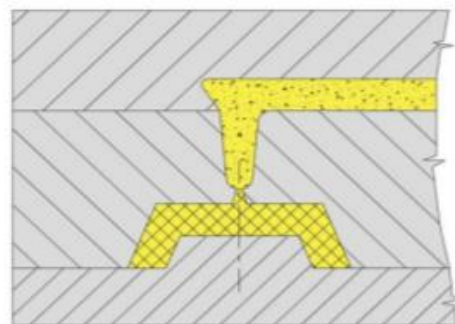
Na konci rozváděcí kanálku je zúžením vytvořeno vtokové ústí. Vtokové ústí by se měla umisťovat do nejtlustšího místa stěny výstřiku, aby tavenina tekla z míst většího průřezu do menšího průřezu nebo do geometrického středu. Existuje několik druhů provedení ústí vtoku a jsou to například tyto:

- Plný kuželový vtok – dopravuje taveninu do dutiny formy bez zúžení vtokového ústí. Využívá se hlavně u jednonásobných forem pro jednoduché symetrické výstřiky s větší tloušťkou stěny. Jeho výhodou je možnost vysoké účinnosti dotlaku a snadná výroba. Nevýhodou tohoto toku je, že vždy zanechává stopu a velmi pravné odstranění zbytků vtokového kanálu. Řez plným kuželovým vtokem je na obrázku 22.



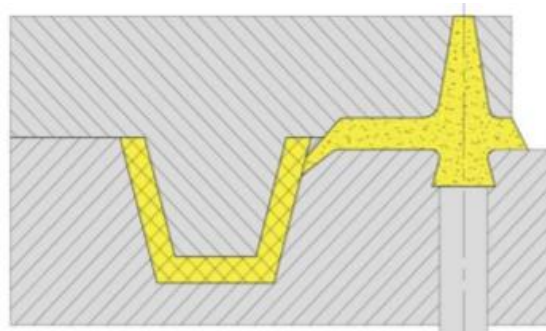
Obr. 22 Řez kuželovým vtokem [24].

- Bodový vtok – nejznámější a nejpoužívanější typ zúženého vtokového ústí, který má většinou kruhový průřez a ústí může vyházet z vtokového kanálku z předkomůrky nebo z rozváděcích kanálků. Nejčastěji je využíván u tenkostěnných výstřiků. Nevýhodou tohoto ústí je nutnost použití třídeskových forem, aby při odformování bylo zajištěno nejprve odtržení vtokového ústí a potom vyhození výstřiku. Tento typ se nedoporučuje používat u méně tekutých a plněných plastů. Jeho řez je znázorněn na obrázku 23.



Obr. 23 Řez bodovým vtokem [24].

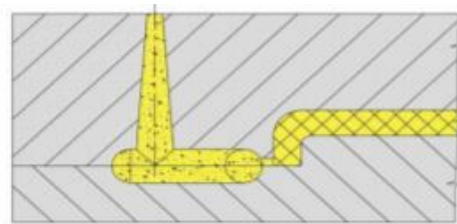
- Tunelový vtok – speciální typ bodového vtoku (obr 24), který umožňuje zaplnit dutinu vstřikovací formy mimo dělicí rovinu a zajišťuje automatické oddělení vtokového zbytku při vyhození výstřiku z formy. V případě použití tohoto typu je nutná přítomnost přidržovače vtoku nebo jiného konstrukčního prvku a nutnost existence ostré hrany, která odděluje vtokový zbytek od součásti. Hlavní



Obr. 24 Řez tunelovým vtokem [24].

nevýhoda tohoto ústí je v jeho náročné výrobě elektroerozivním hlouběním a omezené množství použitelných plastů. Využívá se hlavně u vzhledově náročných dílů.

- Boční vtok – další často využívaný typ vtokového ústí, které je zúžené v dělicí rovině. Při odformování zůstává vtokový zbytek spojený s výstřikem a jeho oddělení se u automatického cyklu řeší zvláštním odřezávacím mechanismem, které je součástí formy, nebo se ručně odlamuje.
- Filmový (štěrbinový) vtok – typ ústí s obdélníkovým průřezem. Umisťuje se hlavně do kratší hrany výstřiku. Využívá se hlavně pro tenké ploché díly ze semikrystalických a plněných plastů u kterých zajišťuje požadovanou pevnost vstřikovaného dílu. Nevýhoda tohoto ústí je v oddělení vtokového zbytku až po vyhození výstřiku z formy. Jeho řez je znázorněn na obrázku 25.

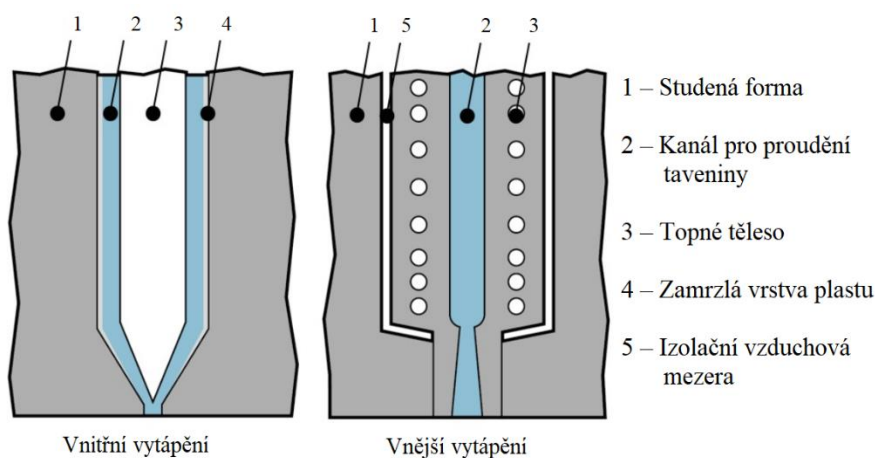


Obr. 25 Řez filmovým vtokem [24].

#### 2.4.2 Vyhřívání vtokové soustavy [18], [19]

Vyhřívání či jinak nazývané horké vtokové soustavy jsou během celého pracovního cyklu udržovány nad teplotou tání vstřikovaného polymeru. Nedochází tak k tuhnutí polymeru vtokových soustavách, jak je tomu u studených soustav. Systém vyhřívání vtokové soustavy je tepelně izolovaný jako samostatný blok vstřikovací formy. Tento systém se skládá z vtokové vložky, vyhřívání rozváděcích kanálků, trysky a kabeláže. Mezi hlavní výhody horkých vtokových soustav patří nepřítomnost vtokového zbytku. Díky tomu jsou sníženy náklady na výrobu plastových dílů a urychlení celého vstřikovacího cyklu.

Vyhřívání trysky horkého rozvodu můžeme rozdělit do dvou typů – s vnitřním vytápěním nebo s vnějším vytápěním (Obr. 26). Vnitřní vytápění k ohřevu využívá torpédové topné těleso. Takto vytápěné trysky mohou mít za následek tepelnou degradaci, kdy může docházet ke tvorbě zamrzlé vrstvy plastu v místech kontaktu se studenou stěnou formy. Vnější vyhřívání je častěji využívaným typem, kdy je vyhřívání vtokové soustavy zajištěno topnou spirálou kolem vtokového kanálku.

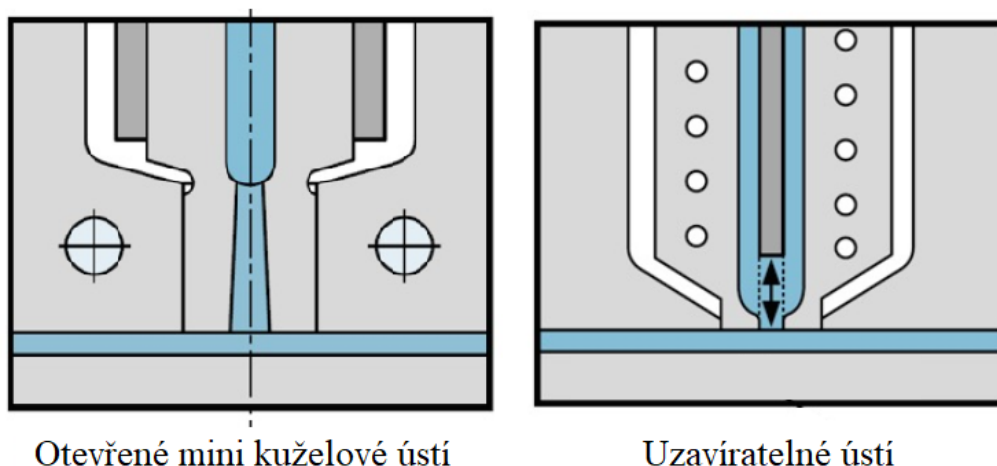


Obr. 26 Druhy vyhřívání trysek [19].

Ústí vyhřívání trysek může být konstrukčně řešeno několika způsoby. Základní rozdělení je na otevřené a uzavíratelné ústí. Konstrukci je třeba řešit tak, aby během otevřené formy nevytékala tavenina z trysky ven. U standardních typů je tento problém řešen ztuhnutím tenké vrstvy v místě vtoku. Důležitým požadavkem je, aby nedošlo k ucpání trysky. Proto je nutný minimální kontakt trysky se vstřikovací formou za účelem co nejmenšího přenosu tepla.

Mezi nejčastější typy otevřených ústí horkých vtoků jsou tzv. mini kuželová (obr. 27 vlevo). Ty jsou využívány pro plasty s nižší tekutostí taveniny. Jejich výhodou je, že zanechávají malou stopu po vtokovém zbytku. Uzavíratelné horké rozvody (obr. 27 vpravo) naopak umožňují mechanické uzavírání ústí vtoku pomocí hydraulicky nebo pneumaticky řízeného uzávěru (jehly). U vícebodového vstřikování je tak s jejich pomocí možné plnit dutinu formy sekvenčním či kaskádovým způsobem. Na vstřikovacím dílu nezanechávají téměř žádné stopy

po vtokovém zbytku. Uzavíratelné horké rozvody mají však velkou pořizovací cenu, proto se toto řešení vyplatí jen pro velkosériovou výrobu, anebo u pro výrobky s vysokým nárokem na kvalitu povrchu v místě vstřiku.



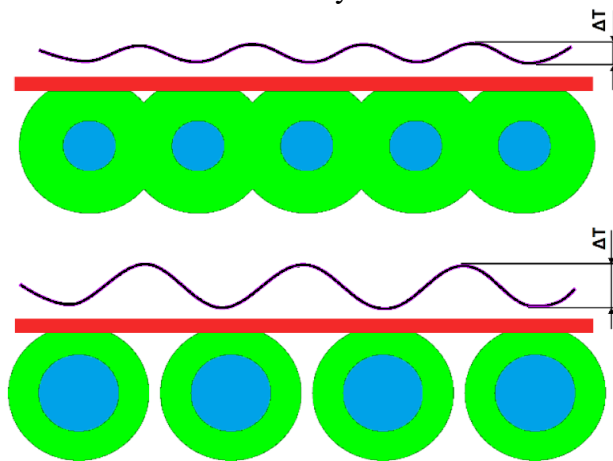
Obr. 27 Druhy ústí vyhřívaných vtokových trysek [19].

## 2.5 Temperace forem [18], [19], [25]

Temperační systém má pozitivní vliv na výsledné vlastnosti výstřiku a celkovou délku vstřikovacího cyklu. Hlavním cílem je zajištění co nejrychlejšího a nejrovnoměrnějšího chlazení výstřiku v celém jeho průřezu. Je konstruován zvlášť pro pevnou i pohyblivou část vstřikovací formy v několika jednotlivých okruzích.

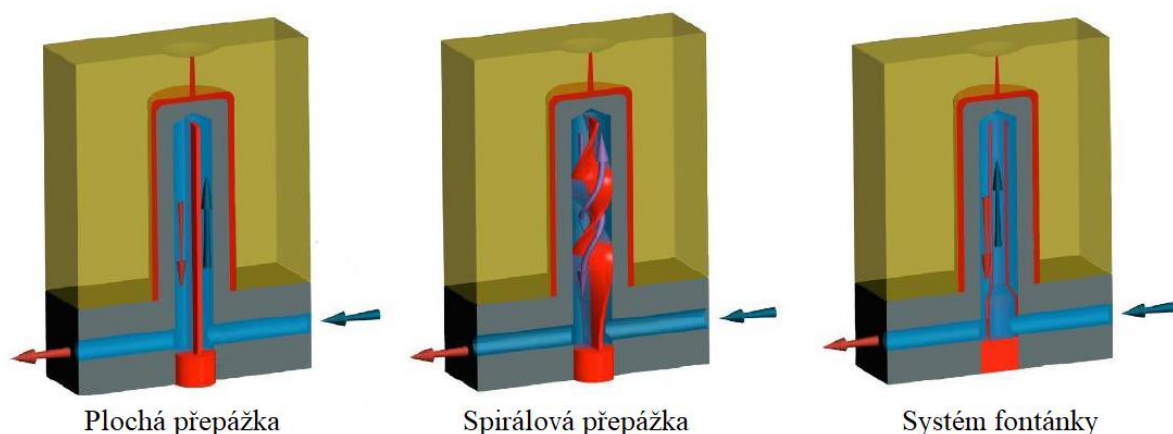
Nejčastějším temperačním médiem je voda, kterou pomocí temperačních kanálků proučí kolem tvarové dutiny formy. Pro teploty vyšší než 90 °C se využívá jako chladicí medium olej. Aby byl zajištěn, pokud možno co nejvýraznější přenos tepla je zapotřebí turbulentního proudění. Temperační systém slouží jak k udržování požadované teploty formy při vstřikovacím cyklu, tak i k rychlému dosažení provozní teploty při zahájení vstřikování.

Aby bylo zabezpečeno rovnoměrné chlazení ve všech místech výstřiku a nedocházelo k vnitřnímu napětí ve výstřiku, je snahou rozmístit chladicí okruhy rovnoměrně. Zajištění intenzivnějšího a rovnoměrnějšího rozložení teplot na stěnách tvarové dutiny je lepší volit kanálky s hustější sítí a menším průměrem (viz Obr. 28). Musí však být brán zřetel i na ostatní části formy (vyhazovače, jádra atd.). proto je nutný kompromis mezi jednotlivými systémy formy. Pokud je však hustota kanálků příliš velká, může dojít ke snížení mechanické pevnosti formy a vlivem působení většího vnitřního tlaku během vstřikovacího cyklu může dojít k únavovému defektu vstřikovací formy.



Obr. 28 Vliv hustoty kanálků na rovnoměrnost teploty [19].

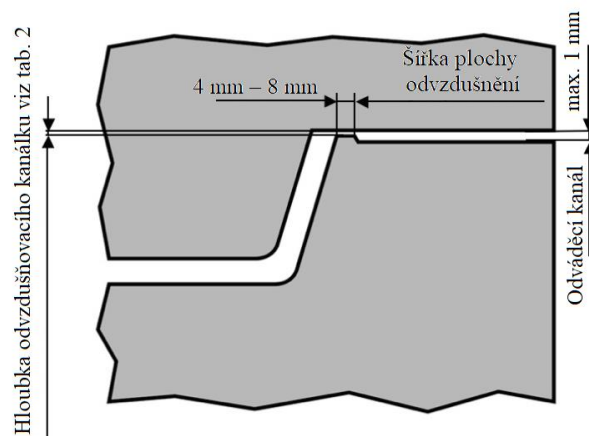
Ve špatně dostupných částech tvarových vložek jsou využívány speciální prvky temperačního systému, jako jsou například různé přepážky, fontánky, aj (obr. 29). Pro zvýšení účinku chlazení se tvarové části formy mohou vyrábět z vysoce tepelně vodivých materiálů. Aby nedocházelo k nechtěnému odvodu tepla, vkládají se mezi formu a upínací desky stroje izolační desky na bázi vyztužených reaktoplastů.



Obr. 29 Typy přepážek temperačního systému [19].

## 2.6 Odvzdušnění forem [2], [18], [19]

Pro dokonalé vyplnění tvarové dutiny formy taveninou plastu je důležité odvzdušnění vstřikovací formy. Jelikož je fáze plnění krátký okamžik, mohlo by nedostatečným odvodem vzduchu z dutiny formy dojít k vytvoření vzduchových bublin nebo k nebezpečnému navýšení vnitřního tlaku a vzniku spálenin vlivem adiabatické komprese plynu. Způsob odvodu vzduchu lze navrhnout již při konstrukci formy s využitím simulační analýzy plnění dutiny formy, kdy lze zjistit poslední zaplněná místa dutiny formy při vstříknutí taveniny plastu, proto by v těchto místech měly být navrženy odvzdušňovací kanálky. V tabulce 2 je uvedeno několik typů plastů s doporučenou velikostí hloubky odvzdušňovacích kanálků a na obrázku 30 je zobrazena jejich doporučená konstrukce. Další možností je navržení odvzdušňovacích kanálků až po odzkoušení formy.

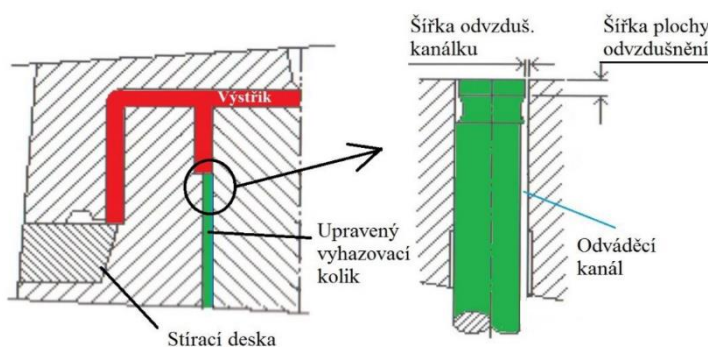


Obr. 30 Doporučená konstrukce odvzdušňovací kanálku [19].

Tab. 2 Doporučená hloubka drážek pro různé plasty [18].

Plast	PS, ABS	PE, PP	PA	PC	POM	PBT
Hloubka [mm]	do 0,05	do 0,04	do 0,03	do 0,05	do 0,05	do 0,03

V závislosti na geometrii součástí, jejím zaformování a umístění vtoku, může být konstrukce odvzdušnění odlišná na různých typech forem. Pokud tavenina proudí směrem k dělicí rovině je vhodné odvzdušňovací drážku navrhnout v dělicí rovině. Další možností, jak odvzdušňovat dutinu formy může být realizováno pomocí vyhazovacích kolíků. Tato konstrukce je znázorněna na obrázku 31.



Obr. 31 Úprava kolíku pro odvzdušnění [26].



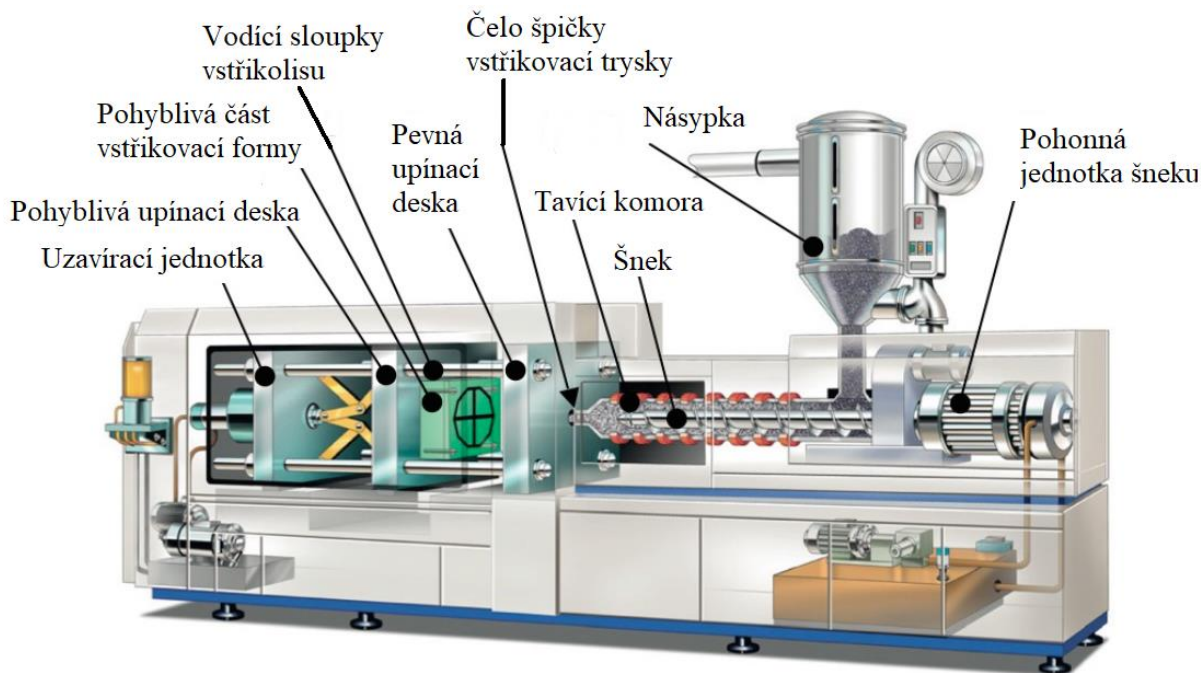
## 2.7 Faktory ovlivňující vlastnosti a kvalitu výstřiku [2], [6], [13]

Výsledné vlastnosti a kvalitu vstřikovaných součástí ovlivňuje celá řada faktorů. O finálních vlastnostech a kvalitě výstřiků rozhoduje druh plastu, konstrukce výrobku, technologické parametry, konstrukce vstřikovací formy a vstřikovací stroj.

- Z hlediska volby druhu plastu má na finální vlastnosti výstřiků vliv: typ plastu, druh a množství přísad, nadmolekulární struktura plastu, rychlost plastikace polymeru, obsah vody v polymeru, tekutost plast, rovnoměrná homogenita taveniny plastu, smrštění plastu v jednotlivých směrech na výstřiku a velikost vnitřního napětí.
- Z hlediska konstrukce výstřiku má na finální vlastnosti vliv: velikost výrobku, tloušťka stěny, velikost rádiusů, hmotnost výrobku a tolerance na výrobku.
- Z hlediska technologických parametrů ovlivňují konečné vlastnosti výstřiku tyto následující: teplota formy, teplota taveniny, rychlost vstřikování, doba dotlaku, velikost dotlaku, vstřikovací tlak a průběh přepnutí.
- Z hlediska konstrukce vstřikovací formy ovlivňují finální vlastnosti výstřiky tyto faktory: násobnost formy, materiál vstřikovací formy, deformace formy, konstrukce vtokové soustavy, konstrukce temperační soustavy, konstrukce vyhazování, konstrukce odvzdušnění, teplota stěny tvarové dutiny, teplota temperačního média, rozměry dutiny formy a kvalita povrchu formy.
- Z hlediska volby stroje má na konečné vlastnosti výstřiků vliv: konstrukce stroje, typ trysky, velikost dávky, vstřikovací kapacita stroje, plastikační kapacita stroje, teplota jednotlivých pásem tavící komory, teplota trysky, otáčky šneku, dopa plastikace a zpětný tlak.

## 2.8 Vstřikovací stroj [2], [6], [13], [19]

Pro technologii vstřikování plastů se v dnešní době využívá plně automatizovaných vstřikovacích strojů. Zařízení se skládá z několika částí. Na základním rámu stroje je upevněna vstřikovací jednotka, uzavírací jednotka včetně formy a řídicí zařízení pro regulaci celého vstřikovacího cyklu. Popis jednotlivých částí vstřikovacího stroje je znázorněn na obrázku 32.



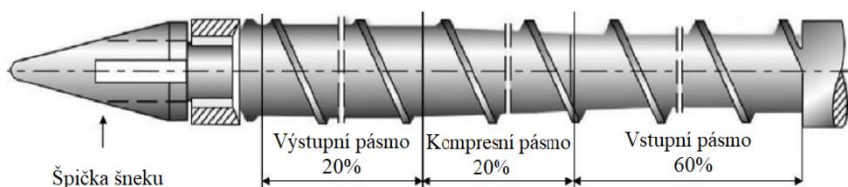
Obr. 32 Popis vstřikovací stroje [19].

### 2.8.1 Vstřikovací jednotka [2], [6], [13]

Vstřikovací jednotka slouží k roztavení plastového granulátu na homogenní taveninu, která je následně pod vysokým tlakem a vysokou rychlostí vstřikována do tvarové dutiny formy. K homogenizaci taveniny se převážně používají šnekové vstřikovací jednotky.

Při plastikaci se šnek otáčí a v hrdle násypky nabírá granulovaný plast, který stlačuje a dopravuje jej do vytápěných částí tavicí komory, kde materiál taje a jako tavenina se hromadí před čelem šneku a šnek během otáčení ustupuje dozadu. Po zplastikování potřebného množství plastu se otáčivý pohyb šneku zastaví a šnek se bez otáčení pohybuje dopředu jako píst a vstřikuje taveninu do dutiny formy. Jelikož plastikace nové dávky plastu může probíhat ještě ve fázi chlazení výstřiku ve formě, je výrobní cyklus kratší oproti pístovým strojům.

Hlavní funkční částí vstřikovací jednotky je šnek. Používá se diferenciální šnek s daným kompresním poměrem, který je rozdělen na tři pásma (obr. 33). V místě oblasti násypky je nachází vstupní část, která má nejmenší průměr jádra, zaujímá asi 60 % délky šneku a je zde granulát postupně stlačován a ohříván. Druhým pásmem je kompresní pásmo, které se postupně rozšiřuje. Tím dochází k roztavení materiálu. Odtud je materiál dopravován do výstupní části tzv. homogenizační, kde dochází k homogenizaci taveniny. Zde je jádro šneku opět konstantní. Šnek je pak zakončen kuželovou špičkou.

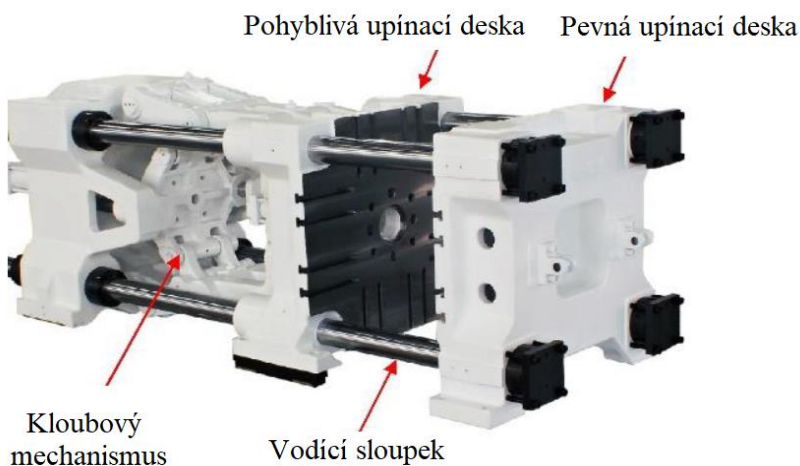


Obr. 33 Pásma šneku [27].

### 2.8.2 Uzavírací jednotka [2], [6], [13]

Uzavírací jednotka je určena k upnutí vstřikovací formy, která se během pracovního cyklu musí otevírat a zavírat. Uzavírací jednotka musí zajistit dostatečnou uzavírací sílu, aby nedošlo k nežádoucímu pootevření formy vlivem působení vysokého tlaku během vstřikování taveniny do dutiny formy. Dále zajišťuje funkci vyhadzování během odformování výstřiku pomocí vyhadzovačů.

Uzavírací jednotka je složena z pevné a pohyblivé desky s upínacím systémem pro vstřikovací formy. Další součástí jsou vodící sloupky, které zajišťují přesnou rovnoběžnou polohu upínacích desek. Poslední částí je pohybový uzavírací mechanismus, který zajišťuje potřebnou uzavírací sílu během procesu vstřikování. Mechanismus může být ovládán hydraulicky, mechanicky (obr. 34), hydraulicko-mechanicky nebo elektro-mechanicky. Nejčastěji se uzavírací jednotka používá v horizontálním provedení.



Obr. 34 Mechanická uzavírací jednotka [28].

## 2.9 Speciální technologie vstřikování [6], [13].

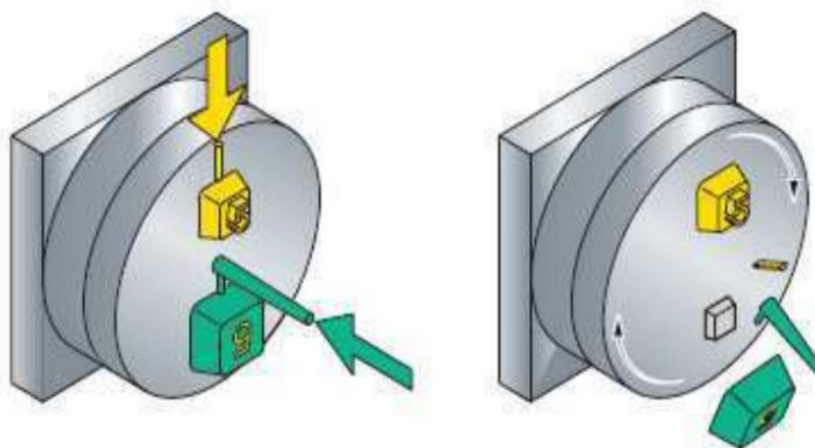
Kromě klasické technologie vstřikování plastů existuje řada dalších technologií vstřikování, které jsou označovány jako speciální technologie vstřikování. Tyto technologie jsou založeny na podstatě technologie vstřikování, ale z hlediska technologických parametrů a konstrukce forem a stroje jsou rozdílné.

### 2.9.1 Technologie vícekomponentního nebo vícebarevného vstřikování [6], [13]

Technologie vícekomponentního nebo vícebarevného je vstřikování speciální technologie vstřikování, která na jednom plastovém výrobku kombinuje (spojuje) dva nebo více polymerních materiálů nebo dvě nebo více barev od jednoho druhu plast. Tato technologie je založena na vytvoření spoje mezi použitými polymery v rámci jednoho výrobku buď pomocí adhezních sil anebo zastříknutím tvarové geometrie u polymerů bez vzájemných adhezních vazeb. V současné době je tato technologie stále více používána na plastové výrobky obsahující kombinace termoplastu a termoplastického elastomeru.

Technologie vícekomponentního nebo vícebarevného vstřikování se liší od technologie vstřikování tím, že vstřikovací forma musí umožnit vstřik rozdílných plastů nebo barev v jednotlivých dutinách vstřikovací formy během jednoho vstřikovacího cyklu. Dále jsou ke vstřikovací formě připojeny dvě či více vstřikovacích jednotek. Vstřikovací jednotky mají samostatně ovládané nejenom vytápění, ale i dávkování a technologické parametry. Umístění vstřikovacích jednotek je konstrukčně odlišné podle druhu a počtu komponentů.

Nejrozšířenější a zároveň nejjednodušší variantou je dvoukomponentní vstřikování (obr. 35), kdy během vstřikovacího procesu je do jedné tvarové dutiny vstřikovací formy vstříknut první polymer (nebo barva) a zároveň do druhé dutiny vstřikovací formy je vstříknut druhý polymer (druhá barva) a dochází ke spojení a k vytvoření konečného plastového dílu. Z této dutiny vstřikovací formy je plastový díl následně vyhozen. Polotovár z první dutiny je přesunut, „pootočen“ do druhé pozice, nejčastěji o 180°.

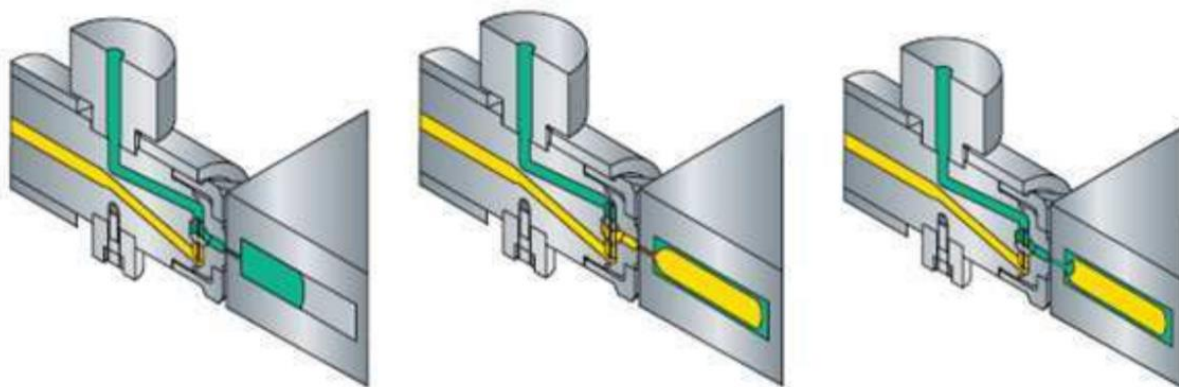


Obr. 35 Dvoukomponentní vstřikování [13].

### 2.9.2 Technologie vstřikování sendvičů [6], [13]

Technologie sendvičového vstřikování je založena na vytvoření „obalu“ z jednoho typu polymeru a „jádra“ z druhého typu polymeru. Výhodou technologie je možnost použití např. recyklátu do jádra plastových dílů, nebo použití speciálních typů plastů (vodivé plasty, high-tech plasty atd.) na vnějším povrchu plastových dílů. Oba materiály by měly být vzájemně mísitelné a měly by mít podobné parametry zpracování.

Proces sendvičového vstřikování (obr. 36) je z hlediska jednotlivých fází shodný se standardním vstřikováním, kdy je rozdělen do dvou nebo tří kroků: Do vstřikovací formy je nejdříve vstříknuta tavenina plastu, která tvoří povrchovou vrstvu výstřiku. Vzápětí je do plastického jádra vstříknuta tavenina plastu, tvořící jádro výrobku, a nakonec se vstříkne ještě tavenina plastu, který je na povrchu plastového dílu. Tím se uzavře povrch plastového dílu.



Obr. 36 Sendvičové vstřikování [13].

### 2.9.3 Technologie vstřikování plastů s podporou plynu [6], [13]

Technologie vstřikování plastů s podporou plynu (GIT) je technologie založená na tom, že se do určitých míst plastového výstřiku za účelem vytvoření dutiny přivádí inertní plyn. Nejčastěji používaným je vysoce čistý dusík (čistota min. 99,8 %) s možností jeho stlačování v rozsahu 10 až 40 MPa. Výhodou technologie vstřikování s podporou plynu je možnost vyrábět tlustostěnné plastové díly s uzavřenými dutinami bez propadlin a dlouhých časů chlazení, snížení uzavíracích sil, snížení smrštění, zkrácení délky cyklu (zkrácení doby chlazení až o 50 % vlivem zmenšení tloušťky stěny), snížení hmotnosti výrobku (redukci hmotnosti až o 50 %), nízká deformace plastových výrobků, vysoký stupeň tuhosti dílů s žebry, zachování požadovaných mechanických vlastností, minimalizace deformací výstřiku, snížení spotřeby plastů a zachování vysoké kvality povrchu plastových dílů.

Proces vstřikování plastů s podporou plynu je obdobný jako u technologie vstřikování, tedy zavření formy, vstřik, dotlak, chlazení, otevření formy a vyhození výrobku. Plyn přebírá funkci dotlaku. Protože je však tlak plynu ve všech místech vytvořené dutiny stejný (jak u injektoru plynu, tak i v posledních místech vytvořené dutiny), není potřeba tak vysokých tlaků, jako u technologie vstřikování.

Z počátku se přivádí plyn o nižším tlaku, aby došlo k vytvoření dutiny a nedošlo ke vzniku povrchových vad. Po úplném naplnění tvarové dutiny formy se tlak plynu zvýší, aby se dosáhlo přesného tvaru plastového dílu. Princip je znázorněn na obrázku 37.



Obr. 37 Vstřikování plastů s podporou plynu [6].

### 2.9.4 Technologie vstřikování plastů s podporou vody [6], [13]

Technologie vstřikování plastů (WIT) s podporou vody se využívá k výrobě dutých těles jako u technologie GIT. Voda je stejně jako plyn vstřikována do tekuté taveniny za účelem vytvoření dutiny. Voda by se neměla během procesu odpařovat. Vstříknutí vody se musí provést dostatečně rychle, aby se zabránilo degradaci plastu.

Proces vstřikování plastů s podporou vody je obdobný jako u technologie vstřikování s podporou plynu. Voda, stejně jako plyn, přebírá funkci dotlaku. A stejně jako u plynu, tak i u vody je tlak plynu ve všech místech vytvořené dutiny stejný. Při volbě tlaku vody se

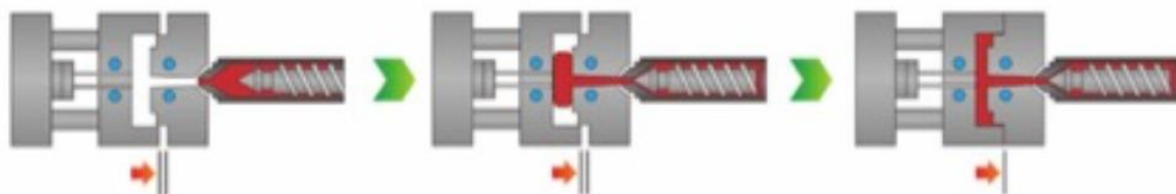


postupuje od nižšího tlaku k vyššímu. Po úplném naplnění tvarové dutiny formy se tlak vody zvýší, aby se dosáhlo přesného tvaru plastového dílu.

### 2.9.5 Technologie kompresního vstřikování [6], [13]

Technologie kompresního vstřikování nebo také vstřikování s dolisováním (CIM) je technologie, u které oproti technologii vstřikování hlavní rozdíl tkví v tom, že tavenina plastů je dotlačena pomocí uzavírací síly stroje. Uzavírací síla (uzavírací jednotka vstřikovacího stroje) přejímá funkci dotlaku.

Technologie kompresního vstřikování má několik procesních alternativ. Jednou z nich je proces, při kterém je před vlastním vstřikováním pootevřena vstřikovací forma do stanovené pozice a do takto pootevřené vstřikovací formy je vstříknuta tavenina plastu o přesně stanoveném objemu (obr. 38). Následuje zvýšení uzavírací síly, a tedy dotlačení taveniny plastu. Ostatní fáze procesu jsou shodné jako u technologie vstřikování.



Obr. 38 Principi kompresního vstřikování [13].

Další možnou alternativou jsou vstřikovací stroje s možností programově řízené uzavírací síly. Ve fázi vstřikování taveniny polymeru je uzavírací síla programově snížena a v důsledku nárůstu tlaku v dutině vstřikovací formy dojde k pootevření vstřikovací formy v dělicí rovině. Následuje programové zvýšení uzavírací síly, a tedy vyvození dotlaku. Ostatní fáze procesu jsou shodné jako u technologie vstřikování.

Technologie kompresního vstřikování umožňuje dosáhnout vysokých přesností rozměrů v celé ploše výrobku, nízkých hodnot smrštění, deformací a pnutí, protože tlak vyvozený uzavírací silou působí přímo na taveninu plastu v celém objemu najednou. Používá se k výrobě optických dílů, čoček, plastových skel a střeš, CD nebo DVD nosičů atd.

### 3 NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY [29]

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1, vyráběnou součástí je plastový uzávěr s dětskou pojistkou (obr. 18) sestavený ze dvou částí (obal a závitová vložka) určený pro plastové láhve s hrdlem PCO 1810. S ohledem na velikost roční produkce, která je 750 000 kusů a nutnosti dodat jednu sérii o velikosti 250 000 kusů do 30 dní, byla pro součást zvolena technologie vstřikování plastů.

Návrh vstřikovací formy může být proveden několika způsoby a z hlediska konstrukce mohou být všechny varianty správné. Volbu konstrukčního řešení určuje

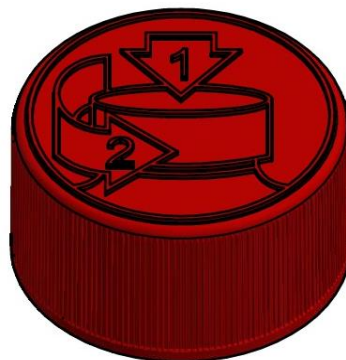
především kvalita výstřiku a vysoká produktivita výroby. S ohledem na velikost výstřiku a série bude vstřikovací forma vícenásobná a obě části uzávěru budou vyráběny jednou formou současně. Toto řešení bylo zvoleno z důvodu, že jinak by byla nutná výroba dvou forem (jedna forma pro obal, druhá forma pro závitovou vložku), které by výrazně zvýšily cenu finálního výrobku a náklady spojené se zhotovením forem.

Jako základní materiál pro výrobu uzávěru byl zvolen polypropylen, a to konkrétně od výrobce Borealis s obchodní názvem Borealis HD120MO, který je vhodný pro výrobu uzávěrů. V tabulce 3 jsou uvedeny základní hodnoty daného materiálu a ty budou následně použity pro výpočet technologických parametrů.

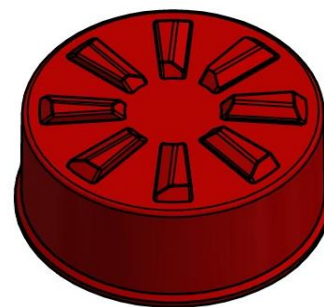
Tab. 3 Základní parametry materiálu Borealis HD120MO [29], [30].

Borealis HD120MO			
Parametry	Označení	Jednotka	Hodnota
Hustota při 23 °C	$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	0,908
Teplota tání	-	°C	165
Teplota tání dle Vicata	-	°C	84
Viskozita při smykové rychlosti 1000 s-1	$\eta$	Pa·s	111
a při teplotě taveniny	-	°C	230
Faktor schopnosti tečení	$K_f$	bar/mm	1,6
Dráha toku při tloušťce stěny 1 mm/ 2 mm	-	mm	130/540
Teplota taveniny	$T_M$	°C	230-260
Teplota formy	$T_F$	°C	10-30
Maximální obvodová rychlost šneku	$v$	m/s	0,3
Faktor navýšení objemu taveniny	$K_a$	g/cm <sup>3</sup>	0,73
Efektivní tepelná vodivost	$a_{eff}$	mm <sup>2</sup> /s	0,067
Teplota odformování	$T_E$	°C	80
Rozdíl entalpií	$\Delta h$	kJ/kg	520
Smrštění v paralel. Směru / příčně ke směru toku	$s_m$	%	1-2
Pohlcování vlhkosti	-	%	<0,1

Obal



Závitová vložka



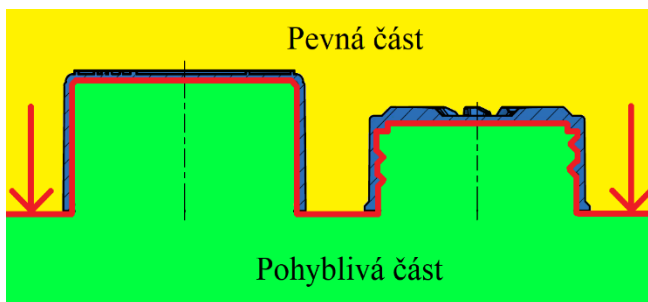
Obr. 39 Model vstřikovaných součástí.

### 3.1 Základní prvky formy

Před samotným začátkem konstrukčního řešení formy je potřeba určit několik základní parametrů, které pak ovlivňují výslednou konstrukci formy. Je potřeba určit polohu dělicí roviny pevné a pohyblivé části formy, umístění vtokového ústí a volbu vtokové soustavy.

- Poloha dělicí roviny – správná volba polohy dělicí roviny pevné a pohyblivé části formy je základním prvem návrhu vstřikovací formy. Její poloha musí zajistit vstřikované součásti po jeho ztuhnutí a otevření formy polohu v pohyblivé části formy a optimálně by dělicí rovina neměla zasahovat do pohledových a funkčních míst dílce.

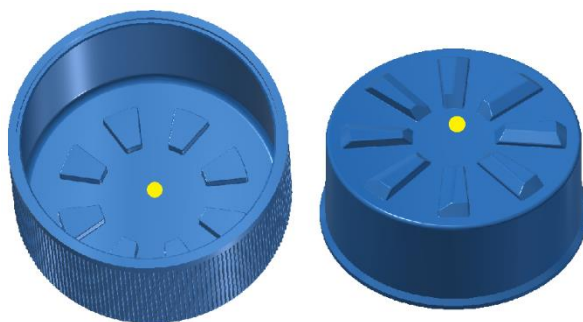
Z geometrie vstřikované součásti vyplývá, že nejvhodnější poloha dělicí roviny je u dolních okrajů obalu a závitové vložky uzávěru (obr. 40). Tento způsob zaformování je zvolen na základě geometrie součásti, kdy pevná část formy bude vytvářet vnější tvar dílců a pohyblivá část formy bude zhotovovat vnitřní tvar výstřiků. Dále tato volba dělicí roviny umožňuje, že po ztuhnutí výstřiků a otevření formy zůstanou na pohyblivé části formy.



Obr. 40 Určení polohy dělicí roviny.

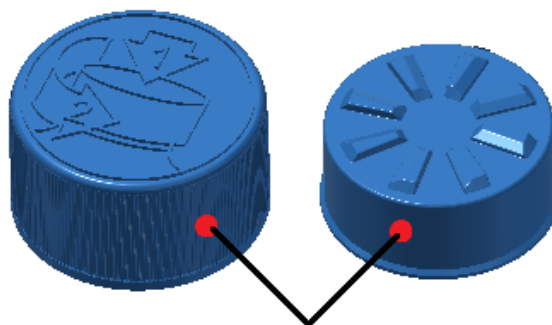
- Umístění vtokového ústí – jeho poloha umístění rozhoduje o výsledné kvalitě vstřikované součásti a ovlivňuje i konstrukční řešení formy. O poloze vtokového ústí rozhoduje konstruktér na základě zkušeností s využitím simulačních analýz nebo koncepcí budoucí formy, když zákazník požaduje nízkou cenu za zhotovení nástroje.

V programu Autodesk Inventor 2017 byla proto provedena analýza určení vhodnosti umístění vtoku, kdy vypočtené polohy jsou zobrazeny na obrázku 41 (žlutá tečka). Na obalu bylo určeno místo vtoku na vnitřní straně součásti, které je nevhodné, kvůli již určené poloze dělicí roviny, proto nová volba umístění vtoku bude na jeho vnějším povrchu. U závitové vložky určil program místo přibližně ve středu součásti na vnější straně, které je vhodná pro umístění vtoku, tato varianta ale v mém případě nebude zvolena.



Obr. 41 Umístění vtoků programem Autodesk Inventor 2017.

Nakonec po zvážení byla zvolena vtoková ústí na boční straně výstřiků ve vzdálenosti 6 mm od polohy dělicí roviny (obr. 42) a typ zvoleného ústí je tunelový vtok. Důvody volby umístění vtoku a jeho typu jsou popsány níže u volby vtokové soustavy.



Zvolená místa ústí vtoku

Obr. 42 Volba místa vtokového ústí.

- Volba vtokové soustavy – zvolení typu vtokové soustavy záleží především na velikosti výrobní série a hmotnosti výstřiku. Volba horké vtokové soustavy se vyplatí v případě, kdy cena jejího zhotovení vychází přibližně stejně jako cena vtokového zbytku u studené vtokové soustavy celé série.

Zde volba připadla na studenou vtokovou soustavu s tunelovým ústím vtoku z důvodu vícenásobné formy, zvolené polohy dělicí roviny a umístěním vtoků a jeho typu. Z těchto zvolených kritérií bude možné navrhnout jednoduchou dvoudeskovou formu. Pokud by se zvolila studená vtoková soustava s umístěním vtoků na horní straně výstřiků, musela by se navrhnout složitější a dražší třidesková forma s odtrháváním vtokových zbytků.

### 3.2 Výpočet technologických parametrů [2], [18], [20], [25], [31]

Součástí konstrukce formy je i výpočet technologických parametrů, na jejichž základě bude stanovena násobnost formy a její celková velikost. Tyto parametry také poslouží pro optimální volbu vstřikovacího stroje.

- Objem vstřikovaného dílce V:

Jedná se o základní a důležitý parametr pro vstřikování. Pro stanovení objemu obalu a závitové vložky se využilo jejich 3D modelů a objem byl zjištěn za pomoci programu Autodesk Inventor Professional 2017.

$$\begin{aligned} V_{\text{obal}} &= 2384,863 \text{ mm}^3 \doteq 2,4 \text{ cm}^3 \\ V_{\text{vložka}} &= 2246,231 \text{ mm}^3 \doteq 2,3 \text{ cm}^3 \\ V &= V_{\text{obal}} + V_{\text{vložka}} = 2,4 + 2,3 = 4,7 \text{ cm}^3 \end{aligned} \quad (3.1)$$

- Výpočet hmotnosti vstřikovaného dílce G:

Výpočet hmotností obou dílů je proveden podle následujících vztahů:

$$G_{\text{obal}} = V_{\text{obal}} \cdot \rho = 2,4 \cdot 0,908 = 2,1792 \text{ g} \doteq 2,18 \text{ g} \quad (3.2)$$

$$G_{\text{vložka}} = V_{\text{vložka}} \cdot \rho = 2,3 \cdot 0,908 = 2,0884 \text{ g} \doteq 2,09 \text{ g}$$

$$G = G_{\text{obal}} + G_{\text{vložka}} = 2,18 + 2,09 = 4,27 \text{ g} \quad (3.3)$$

Kde:  $\rho$  – hustota zvoleného materiálu (viz tab. 3) [g/cm<sup>3</sup>].

- Stanovení praktické násobnosti formy  $n_p$ :

Praktická násobnost je určena z grafu závislosti násobnosti na velikosti výrobní série. Tento graf je přiložen v příloze 3. Vzhledem k předpokládané velikosti roční série 750 000 kusů byla stanovena praktická násobnost  $n_p = 4$  pro oba vstřikované dílce.

- Výpočet průměru rozváděcího kanálu  $D_k$ :

Výpočet průměru rozváděcího kanálu je stanoven dle následujícího vztahu:

$$D_k = D' \cdot K_1 \cdot K_2 = 3,56 \cdot 1,13 \cdot 1,04 = 4,184 \text{ mm} \doteq 4,2 \text{ mm} \quad (3.4)$$

Kde:  $D'$  – předběžný průměr rozváděcích kanálků (viz tab. 5) [mm],

$K_1$  – koeficient tekutosti materiálu (viz tab. 5) [-],

$K_2$  – koeficient délky rozváděcího kanálu (viz tab. 4) [-].

- Stanovení objemu objemu rozváděcích kanálků:

Objem rozváděcích kanálků (vtokový zbytek) byl opět určen za pomoci programu Autodesk Inventor 2017.

$$V_k = 8827,192 \text{ mm}^3 \doteq 8,83 \text{ cm}^3$$

Tab. 4 Koeficient délky rozváděcí kanálku [20].

Délka kanálku $L_k$ [mm]	$K_2$	Délka kanálku $L_k$ [mm]	$K_2$
0–20	1	100–150	1,2
20–40	1,04	150–200	1,29
40–70	1,08	200–250	1,39
70–100	1,12	250–300	1,51

Délka rozváděcího kanálku  $L_k$  je rovna největšímu rozměru součásti. V tomto případě je délka  $L_k$  rovna vnějšímu průměru obalu uzávěřů – 34,3 mm.

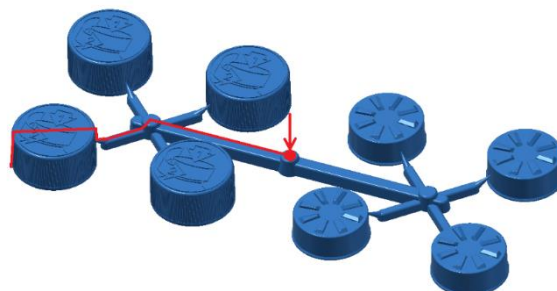
Tab. 5  $D' = f(G, s)$  – Průměr  $D'$  závisí na hmotnosti a tloušťce stěny výstřiku [20].

	s – tloušťka stěny plastového dílce [mm]								
G – hmotnost výstřiku [g]	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
0	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
<10	2,55	3,06	3,56	4,05	4,55	5,04	5,54	6,03	6,53
10–16	2,59	3,09	3,59	4,09	4,57	5,06	5,56	6,05	6,54
16–25	2,63	3,14	3,64	4,13	4,62	5,1	5,59	6,08	6,56
25–40	2,72	3,22	3,73	4,21	4,69	5,16	5,64	6,12	6,6
40–63	2,84	3,35	3,86	4,34	4,79	5,25	5,72	6,19	6,66
63–100	3,04	3,55	4,08	4,53	4,96	5,4	5,85	6,3	6,67
100–160	3,36	3,88	4,42	4,86	5,24	5,64	6,06	6,48	6,91
160–250	3,84	4,38	4,94	5,33	5,66	6,01	6,38	6,76	7,14
$K_1$	1,19	1,15	1,13	1,12	1,11	1,1	1,09	1,08	1,07

Protože se u obou částí uzávěru pohybuje tloušťka stěny v rozmezí od 1 mm do 2,2 mm (u závitové vložky hlavně okolo 2 mm), tak byla zvolena střední tloušťka dílce  $s = 2$  mm.

- Určení délky dráhy toku taveniny  $f_c$ :

Maximální délka dráhy toku taveniny byla zjištěna pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2017 a je zobrazena na obrázku 43.



Obr. 43 Určení délky toku taveniny.

$$f_c = 149,9 \text{ mm}$$

- Výpočet velikosti vstřikovaného objemu (dávky taveniny)  $V_D$ :

Velikost dávky taveniny je vypočítána následujícím vztahem:

$$V_D = \frac{(n_p \cdot V + V_K) \cdot \rho}{K_a} = \frac{(4 \cdot 4,7 + 8,83) \cdot 0,908}{0,73} = 33,2 \text{ cm}^3 \quad (3.5)$$

Kde:  $n_p$  – praktická násobnost formy [-],

$K_a$  – faktor navýšení objemu taveniny (viz tab.3) [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ].

- Výpočet minimálního plnicího tlaku  $p_f$ :

Stanovení minimálního plnicího tlaku je dán vztahem:

$$p_f = 3 \cdot K_f \cdot f_c \cdot s^{-1,6} = 3 \cdot 1,6 \cdot 149,9 \cdot 2^{-1,6} = 236,24 \text{ bar} \quad (3.6)$$

Kde:  $K_f$  – faktor schopnosti tečení (viz tab. 3) [ $\text{bar}/\text{mm}$ ],

$s$  – střední tloušťka dílce [mm].

- Určení doporučeného vstřikovacího tlaku  $p_v$ :

Rozsah doporučených vstřikovacích tlaků pro PP je převzat z tabulky v příloze 4. Zvolený vstřikovací tlak musí být větší než je minimální plnicí tlak vypočítaný ve vztahu 3.6.

$$p_v = 500 \div 1200 \rightarrow \text{vstřikovací tlak zvolen } 1000 \text{ bar}$$

$$p_v > p_f \rightarrow 1000 > 343,68 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

- Výpočet tvářecího tlaku  $p_A$ :

Výpočet tvářecího tlaku je vypočítána podle následujícího vztahu:

$$p_A = \frac{p_v}{2} + 100 = \frac{1000}{2} + 100 = 600 \text{ bar} \quad (3.7)$$

- Výpočet plochy průmětu tvarové dutiny do dělicí roviny formy:

Do výpočtu plochy průmětu tvarové dutiny do dělicí roviny jsou zahrnuty plochy obalu, závitové vložky a vtokového zbytku. Výpočet plochy je dán vztahem:

$$A_{\text{proj}} = n_p \cdot \left( \frac{\pi \cdot D_{\text{obal}}^2}{4} + \frac{\pi \cdot D_{\text{vložka}}^2}{4} \right) + S_{\text{vtok}} = 4 \cdot \left( \frac{\pi \cdot 34,3^2}{4} + \frac{\pi \cdot 31,8^2}{4} \right) + 1525 \quad (3.8)$$

$$A_{\text{proj}} = 8397,9 \text{ mm}^2 \doteq 84 \text{ cm}^2$$

Kde:  $D_{\text{obal}}$  – vnější průměr obalu [mm],

$D_{\text{vložka}}$  – vnější průměr závitové vložky [mm],

$S_{\text{vtok}}$  – plocha vtokového zbytku zjištěna programem Autodesk Inventor 2017 [mm<sup>2</sup>].

- Výpočet uzavírací síly  $F_p$ :

Uzavírací síla je dalším důležitým parametrem pro konstrukci formy, kdy její velikost následně rozhoduje o správné volbě vstřikovacího stroje. Velikost uzavírací síly je určena následujícím vztahem:

$$F_p = A_{\text{proj}} \cdot \frac{p_A + 100}{100} = 84 \cdot \frac{600 + 100}{100} = 588 \text{ kN} \rightarrow 560 \text{ kN} \quad (3.9)$$

- Výpočet vyhazovací síly  $F_v$ :

Stanovení přesné velikosti vyhazovací síly je velice obtížné, protože závisí na mnoha faktorech, hlavně na geometrii výstřiku. Pro přesný výpočet by bylo nutné spočítat vyhazovací sílu pro každý tvarový prvek, který přilne na tvárník. Kvůli složitosti vnitřní geometrie obou součástí (prvek závitů, drážka) bude velikost vyhazovací síly určena pouze orientačně pro zjednodušenou geometrii dílců (obr. 44) a navýšena o 25 %. Vyhazovací síla je vypočtena následujícím vztahem:

$$F_v = f \cdot n_p \cdot (S_{\text{obal}} \cdot p_T + S_{\text{vložka}} \cdot p_T) \cdot 1,25 \text{ [N]} \quad (3.10)$$

Kde:  $f$  – koeficient tření mezi plastem a ocelí, zvoleno 0,3 pro PP [-],

$S_{\text{obal}}$  – zjednodušená plocha obalu přilnutá na tvárník [mm<sup>2</sup>],

$S_{\text{vložka}}$  – zjednodušená plocha vložky přilnutá na tvárník [mm<sup>2</sup>],

$p_{T-\text{obal}}$  – tlak mezi plastem a tvárníkem u obalu [MPa],

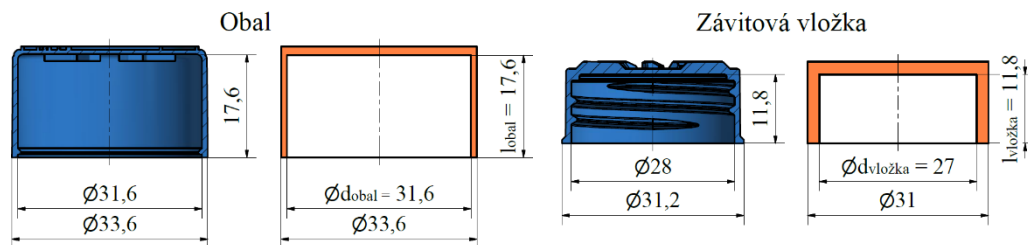
$p_{T-\text{vložka}}$  – tlak mezi plastem a tvárníkem u vložky [MPa],

Zjednodušená plocha součástí přilnuté na tvárníku je určena vztahem:

$$S = \pi \cdot d \cdot l \text{ [mm}^2\text{]} \quad (3.11)$$

Kde:  $l$  – výška nahrazené geometrie součásti [mm],

$d$  – vnitřní průměr nahrazené geometrie součásti [mm].



Obr. 44 Zjednodušená geometrie dílců

Výpočet zjednodušené plochy pro obal uzávěru  $S_{\text{obal}}$ :

$$S_{\text{obal}} = \pi \cdot d_{\text{obal}} \cdot l_{\text{obal}} = \pi \cdot 31,6 \cdot 17,6 = 1747,2 \text{ mm}^2$$

Výpočet zjednodušené plochy pro závitovou vložku uzávěru  $S_{\text{vložka}}$ :

$$S_{\text{vložka}} = \pi \cdot d_{\text{vložka}} \cdot l_{\text{vložka}} = \pi \cdot 27 \cdot 11,8 = 1000,9 \text{ mm}^2$$

Tlak vyvolaný tahovým napětím mezi plastem a tvárníkem je dán rovnicí:

$$p_T = \sigma_{\text{tah}} \cdot \frac{2 \cdot t}{d_t} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (3.12)$$

Kde:  $l$  – tloušťka stěny nahrazené geometrie součásti [mm],

$d_t$  – průměr tvárníku [mm],

$\sigma_{\text{tah}}$  – napětí v tahu mezi výstřikem a tvárníkem [MPa].

Napětí mezi tvárníkem a dílem je vyvoláno od smrštění vstřikovaného materiálu. Tahové napětí je určeno podle Hookova zákona rovnicí:

$$\sigma_{\text{tah}} = \varepsilon \cdot E = 0,02 \cdot 1500 = 30 \text{ MPa} \quad (3.13)$$

Kde:  $\varepsilon$  – smrštění (viz tab. 3), zvoleno  $\varepsilon = 2$  [%],

$E$  – Modul pružnosti v tahu (viz příloha 1) [MPa].

Tlak vyvolaný tahovým napětím mezi plastem a tvárníkem u obalu:

$$p_{T-\text{obal}} = \sigma_{\text{tah}} \cdot \frac{2 \cdot t_{\text{obal}}}{d_{t-\text{obal}}} = 30 \cdot \frac{2 \cdot 1}{31,6} = 1,9 \text{ MPa}$$

Tlak vyvolaný tahovým napětím mezi plastem a tvárníkem u vložky:

$$p_{T-\text{vložka}} = \sigma_{\text{tah}} \cdot \frac{2 \cdot t_{\text{vložka}}}{d_{t-\text{vložka}}} = 30 \cdot \frac{2 \cdot 2}{27} = 4,44 \text{ MPa}$$

Velikost vyhazovací síly  $F_v$ :

$$F_v = f \cdot n_p \cdot (S_{\text{obal}} \cdot p_T + S_{\text{vložka}} \cdot p_T) \cdot 1,25$$

$$F_v = 0,3 \cdot 4 \cdot (1747,2 \cdot 1,9 + 1000,9 \cdot 4,44) \cdot 1,25 = 11645,5 \text{ N}$$

- Určení optimálního průměru šneku pro vstřikovací stroj  $D_s$ :

Při určení optimálního průměru šneku pro vstřikovací stroj se musí dodržet následující podmínka, která je dána vztahem:

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} \quad (3.14)$$

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{33,2} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{33,2}$$

$$24,1 < D_s < 33,74$$

Tab. 6 Řada průměrů vstřikovacích šneků [20].

Průměry šneků $D_s$ [mm]											
20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90

V tabulce 6 jsou uvedeny normalizované průměry šneků. Na základě podmínky podle vztahu 3.14 připadají v úvahu dva průměry šneků, a to průměry 25 a 30 mm. V tomto případě je zvolen průměr šneku  $D_s = 30$  mm.



- Stanovení délky dráhy pohybu šneku pro vstřikování dávky  $L_S$ :

Délka dráhy šneku je závislá na objemu vstřikované dávky a vypočte se podle následujícího vztahu:

$$L_S = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot V_D}{\pi \cdot D_s^2} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 33,2}{\pi \cdot 30^2} = 46,97 \doteq 47 \text{ mm} \quad (3.15)$$

Musí být splněna následující podmínka, která je dána vztahem:

$$1 \cdot D_s < L_S < 3 \cdot D_s \quad (3.16)$$

$$1 \cdot 30 < L_S < 3 \cdot 30$$

$$30 < 47 < 90$$

Podmínka dle vztahu 3.16 je splněna, proto délka dráhy pohybu šneku pro vstřikování dávky  $L_S = 47 \text{ mm}$  vyhovuje.

- Výpočet otáček šneku vstřikovacího stroje pro plastikaci  $n_s$ :

Otáčky šneku jsou závislé na jeho maximální obvodové rychlosti a jeho průměru. Výpočet je proveden podle vztahu:

$$n_s = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v}{\pi \cdot D_s} = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 0,3}{\pi \cdot 30} = 191 \text{ min}^{-1} \quad (3.17)$$

Kde:  $v$  – maximální obvodová rychlost šneku (viz tab. 3) [m/s].

- Stanovení doby vstřikování  $t_v$ :

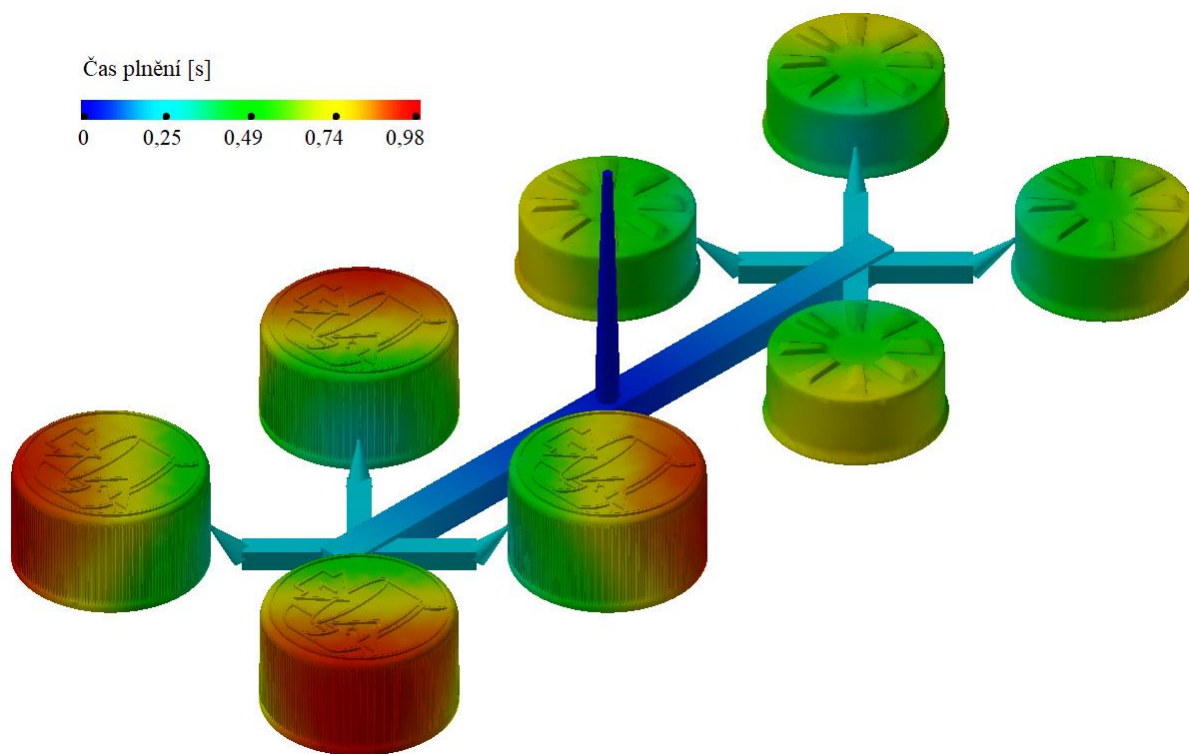
Doba vstřikování (doba plnění) se může stanovit podle tabulky 7, kdy volba záleží na vstřikovaném objemu a viskozitě zvoleného materiálu (viz tab 3). Zvolená doba vstřikování by se pohybovala v intervalu 0,6–0,8 sekund.

V tomto případě se pro stanovení doby plnění využilo simulační analýzy – plnění dutiny formy (obr. 45) v programu Autodesk Inventor 2017. Touto analýzou byla určena doba plnění  $t_v = 0,98 \doteq 1 \text{ s}$ .

Tab. 7 Doba vstřikování podle vstřikovaného objemu a viskozity materiálu [20].

Vstřikovaný objem [cm <sup>3</sup> ]	Doba vstřikování [s]		
	Nízkoviskózní materiál	Středněviskózní materiál	Vysokoviskózní materiál
	viskozita $\eta$ <150 Pa.s	viskozita $\eta$ 150–300 Pa.s	viskozita $\eta$ > 300 Pa.s
od–do			
1–8	0,2–0,4	0,25–0,5	0,3–0,6
8–15	0,4–0,5	0,5–0,6	0,6–0,75
15–30	0,5–0,6	0,6–0,75	0,75–0,9
30–50	0,6–0,8	0,75–1,0	0,9–1,2
50–80	0,8–1,2	1,0–1,5	1,2–1,8
80–120	1,2–1,8	1,5–2,2	1,8–2,7
120–180	1,8–2,6	2,2–3,2	2,7–4,0
180–250	2,6–3,6	3,2–4,5	4,0–5,5
250–500	3,6–4,8	4,5–6,0	5,5–7,5
500–800	4,8–6,2	6,0–8,0	7,5–10,0





Obr. 45 Simulace doby plnění dutiny.

- Výpočet vstřikovací rychlosti  $v_s$ :

$$v_s = \frac{V_D}{t_v} = \frac{33,2}{1} = 33,2 \text{ cm}^3/\text{s} \quad (3.18)$$

- Výpočet doby chlazení  $t_{chl}$ :

Doba chlazení je nejdelší částí vstřikovacího cyklu a významný vliv na kvalitu výsledného výstřiku. Její stanovení probíhá na základě ideálního odvodu tepla a může být proveden simulačně nebo výpočtem. Zde byla zvolena varianta výpočtem podle následujícího vztahu:

$$t_{chl} = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln\left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_F}{T_E - T_F}\right) = \frac{2^2}{\pi^2 \cdot 0,067} \cdot \ln\left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{250 - 20}{80 - 20}\right) \quad (3.19)$$

$$t_{chl} = 6,86 \approx 7 \text{ s}$$

Kde:  $a_{eff}$  – efektivní tepelná vodivost (viz tab. 3) [ $\text{mm}^2/\text{s}$ ],

$T_M$  – teplota taveniny plastu (viz tab. 3), zvoleno  $T_M = 250$  [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$T_F$  – teplota formy (viz tab. 3), zvoleno  $T_F = 20$  [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$T_E$  – teplota odformování (viz tab. 3), zvoleno  $T_E = 80$  [ $^{\circ}\text{C}$ ].

- Výpočet doby vstřikovacího cyklu  $t_c$ :

Celková doba vstřikovacího cyklu je složena z doby vstřikování, doby ochlazování a z časů, které jsou potřeba k uzavření a otevření formy. Grafické znázornění vstřikovacího cyklu je znázorněno na obrázku 46.

$$t_c = t_1 + t_2 + t_v + t_{chl} + t_3 + t_4 = 1,5 + 0,5 + 1 + 7 + 1,5 + 0,5 = 12 \text{ s} \quad (3.20)$$

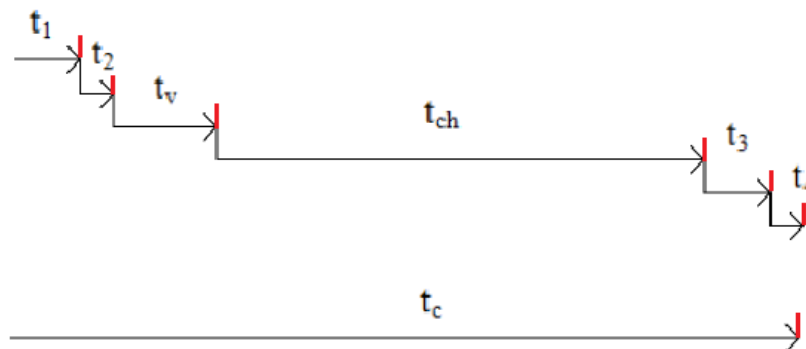
Kde:  $t_1$  – doba uzavírání formy (1 až 1,5), zvoleno  $t_1 = 1,5$  [s],

$t_2$  – doba přisunutí vstřikovací jednotky,  $t_2 = 0,5$  [s],

$t_3$  – doba otevření a vyhození výstřiku (1 až 1,5),

zvoleno  $t_3 = 1,5$  [s],

$t_4$  – doba prodlevy,  $t_4 = 0,5$  [s].



Obr. 46 Grafické znázornění vstřikovacího cyklu.

- Výpočet doby produkce  $t_p$ :

Doba produkce je důležitá pro stanovení praktické násobnosti formy  $n_T$ . Termín zhotovení jedné série je stanoven do 30 dní (1 měsíc), kdy je uvažováno 20 pracovních dní při třísměnném provozu. Výpočet je realizován podle rovnice:

$$t_p = n_m \cdot n_{pd} \cdot h_{pd} = 1 \cdot 20 \cdot 24 = 480 \text{ h} \quad (3.21)$$

Kde:  $n_m$  – počet měsíců, kdy bude probíhat výroba uzávěru [-],  
 $n_{pd}$  – počet pracovních dní v měsíci, zvoleno 20 [-],  
 $h_{pd}$  – počet pracovních hodin za jeden den při třísměnném provozu [h].

- Výpočet termínové násobnosti formy  $n_T$ :

Pro výpočet termínové násobnosti formy je použit vztah 2.4.

$$n_T = \frac{N \cdot t_c}{t_p \cdot K \cdot 3600} = \frac{250\,000 \cdot 12}{480 \cdot 0,8 \cdot 3600} = 2,17 \approx 3$$

Kde:  $N$  – požadovaná velikost série,  $N = 250\,000$  [ks],  
 $t_p$  – doba produkce [hod],  
 $K$  – koeficient využití času (0,7–0,9), zvoleno  $K = 0,8$  [-].

Při základním návrhu formy bylo zvoleno, že ve vstřikovací formě budou zhotoveny dutiny, jak pro obal uzávěru, tak i pro závitovou vložku, aby se snížily finální náklady na výrobu formy a samotného výstřiku. Z vypočítané termínové násobnosti formy vyplývá, že formě bude celkem 6 dutin (3 pro obal, 3 pro vložku). Protože bude nutné ještě oba výstřiky do sebe zakompletovat, tak je konečná násobnost formy zvolena 4 (celkem 8 dutin), aby zůstalo dostatek času na zkompletování uzávěru a stihla se tak celá dodávka série ve stanoveném termínu.

- Výpočet minimální plastikační kapacity vstřikovacího stroje  $C_p$ :

Jedná se parametr, který slouží pro optimální volbu vstřikovacího stroje a vypočten vztahem:

$$C_p \geq \frac{4 \cdot \rho \cdot (n_T \cdot V + V_k)}{t_c} = \frac{4 \cdot 0,908 \cdot (4 \cdot 4,7 + 8,83)}{12} = 8,36 \approx 8,5 \text{ kg/h} \quad (3.22)$$

- Výpočet minimální vstřikovací kapacity vstřikovacího stroje  $C_v$ :

Další hodnota, která rozhoduje o správné volbě vstřikovacího stroje. Je dána rovnicí:

$$C_v \geq 1,1 \cdot (n_T \cdot V + V_k) = 1,1 \cdot (4 \cdot 4,7 + 8,83) = 30,4 \text{ cm}^3 \quad (3.23)$$

- Výpočet průchodu taveniny ze stroje do formy  $\dot{G}$  je dán následujícím vztahem:

$$\dot{G} = \frac{3,6 \cdot V_D \cdot \rho}{t_c} = \frac{3,6 \cdot 33,2 \cdot 0,908}{12} = 9,04 \text{ kg/h} \quad (3.24)$$

- Výpočet tepla vneseného taveninou  $Q$  je proveden rovnicí:

$$Q = \dot{G} \cdot \Delta h = 9,04 \cdot 520 = 4700,8 \text{ kJ/h} \quad (3.25)$$

Kde:  $\Delta h$  – rozdíl entalpií (viz tab. 3) [kJ/kg].

- Výpočet celkového průřezu odvědušnění  $S_{KC}$ :

Při návrhu odvědušňovacích kanálků je možné volit hloubku drážky pro zvolený plast podle doporučených hodnot v tabulce 2 a její šířka se pak upravuje podle potřeby nebo se vypočítá celkový průřez odvědušnění podle následujícího vztahu:

$$S_{KC} = 2,5 \cdot \sqrt{T_2} \cdot \frac{G_{vz}}{p_1 \cdot t_v} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (3.26)$$

Kde:  $G_{vz}$  – hmotnost vzduchu v dutině formy [kg],

$p_1$  – tlak vzduchu v dutině před plněním taveninou [MPa],

$T_2$  – teplota stlačeného vzduchu [K].

Hmotnost vzduchu je stanovena podle vztahu:

$$G_{vz} = (n_T \cdot V + V_k) \cdot \rho_{vz} = (4 \cdot 4,7 + 8,83) \cdot 1,2 \cdot 10^{-6} = 3,32 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \quad (3.27)$$

Kde:  $\rho_{vz}$  – hustota vzduchu při 20 °C [kg/m<sup>3</sup>].

Teplota stlačeného vzduchu podle polytropické změny  $T_2$  je dána vztahem:

$$T_2 = T_1 \cdot \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 293,15 \cdot \left( \frac{25}{0,1} \right)^{\frac{1,15-1}{1,15}} = 602,4 \text{ K} \quad (3.28)$$

Kde:  $n$  – polytropický koeficient (interval 1,1–1,4), zvoleno

$n = 1,15$  [-],

$p_2$  – tlak stlačeného vzduchu v dutině na konci plnění

(interval 20–30 MPa), zvoleno  $p_2 = 25$  [MPa],

$T_1$  – teplota okolí [K].

Celkový průřez odvědušnění bude pak:

$$S_{KC} = 2,5 \cdot \sqrt{T_2} \cdot \frac{G_{vz}}{p_1 \cdot t_v} = 2,5 \cdot \sqrt{602,4} \cdot \frac{3,32 \cdot 10^{-5}}{0,1 \cdot 10^6 \cdot 1} =$$

$$S_{KC} = 2,04 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 = 0,204 \text{ mm}^2$$

Z hlediska optimalizace není vhodné zhotovit jeden odvědušňovací kanálek v celém průřezu, ale navrhnout několik odvědušňovacích kanálků na vhodných místech v dutině formy.

### 3.2 Konstrukční řešení formy

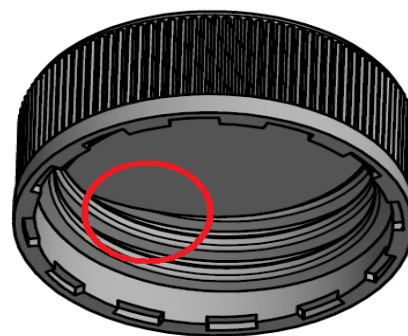
Při konstrukci vstřikovací formy existuje vždy několik vhodných konstrukčních řešení a záleží na konstruktérovi jakou z možností zvolí z hlediska konstrukční složitosti a případné ceně výroby z formy:

V případě dílců uzávěru, kdy jeden obsahuje vnitřní závit, jsou zvažována následující konstrukční řešení:

- dvoudesková forma s vyhazováním pomocí stírací desky,
- dvoudesková forma s vyhazováním pomocí vytáčecích závitových trnů,
- tříděsková forma s odtrháváním vtokových zbytků.

Z těchto variant byla zvolena varianta dvoudeskové formy s vyhazováním pomocí stírací desky, protože se jedná o konstrukčně jednoduché řešení a budou na ní nejmenší cenové náklady spojené s její výrobou. I když jedna ze součástí obsahuje vnitřní závit, tak dvoudesková

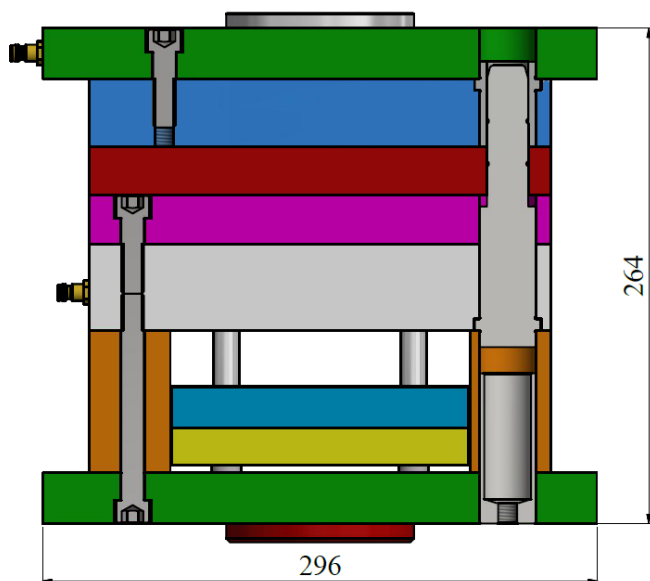
forma s vyhazováním pomocí vytáčecích trnů byla zamítnuta z důvodu, že není vždy nutné vyhazovat součásti tímto způsobem. Aby tento návrh mohl být upřednostněn, musel by mít závit u vložky větší profil a musel by končit v dosedací ploše uzávěru (viz obr. 47). Dále tato varianta by zvedla konečnou cenu nástroje z důvodu, že by vyžadovala přídavné zařízení pro vytáčení. Důvody pro zamítnutí třídeskové formy byly zmíněny již v kapitole 3.1, kde byla zvolena poloha dělicí roviny, umístění vtoků a jejich typ a typ vtokové soustavy.



Obr. 47 Zobrazení závitu končícího v dosedací ploše.

### 3.2.1 Základní rám formy [16], [19], [32], [33], [34]

Vstřikovací forma se skládá obvykle z několika desek obdélníkového nebo čtvercového půdorysu, které jsou většinou normálie a tvoří základní rám formy. Rám je doplněn vodícími elementy (sloupky, pouzdra), které vymezují přesnou polohu desek a taky jsou to většinou normálie. Výrobou těchto normovaných dílů se specializuje několik firem (Hasco, DME, Meusburger). V tomto konstrukčním řešení byly vybrány normované díly od firmy Meusbruger. Na obrázku 48 je zobrazen navržený rám nástroje. Rám je tvořen dvěma upínacími deskami, která mají čtvercový půdorys s rozměry 296 mm x 296 mm. Dále rám tvoří deskou pro tvárníky, stírací deskou, deskou pro tvárnice, které mají obdélníkový půdorys s rozměry 246 mm x 296 mm. Součástí rámu je i přidržovací a hlavní vyhazovací deska a dvě boční rozpěry.



Obr. 48 Základní rám formy.

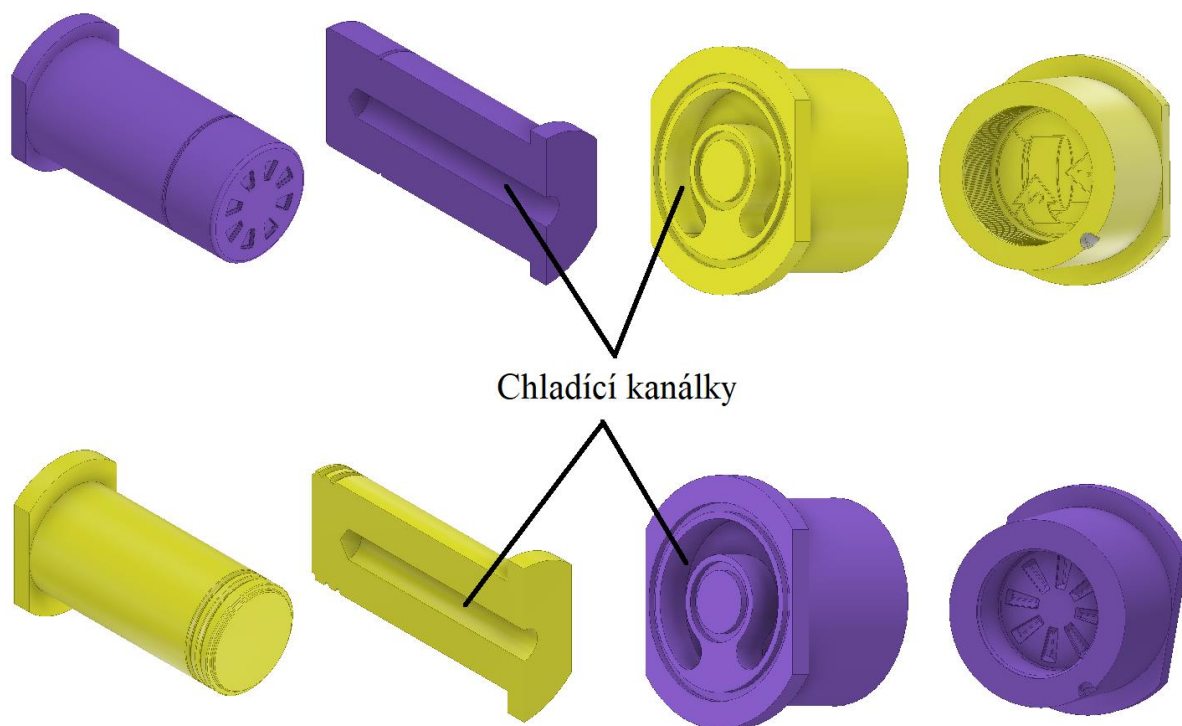
- Volba materiálu základních částí formy – desky, které tvoří rám formy, by měly být vyrobeny z ušlechtilé oceli, aby byla zaručena tvarová stálost a pevnost formy. Hlavními kritérii pro volbu desek je dobrá pevnost, houževnatost, odolnost proti rázům, obrobiteľnosť v zušlechťeném stavu a případně možnost zakalení na vysokou tvrdost. V tabulce 8 jsou uvedeny zvolené materiály pro jednotlivé desky základního rámu formy.

Tab. 8 Zvolené materiály pro základní části formy [19], [33], [34], [35].

Název části rámu	Zvolený materiál	Označení dle EN ISO 4957
Upínací desky	1.1730	C45U
Tvarová deska pevné části formy	1.2312	40CrMnMoS8-6
Tvarová deska pohyblivé části formy	1.2312	40CrMnMoS8-6
Stírací deska	1.2083	X42Cr13
Podpěrná deska	1.1730	C45U
Boční rozpěry	1.1730	C45U
Desky vyhazovacího systému	1.1730	C45U

### 3.2.2 Tvarové vložky dutiny formy [16], [19], [35]

Pro navrhnutí tvar obalu a závitové vložky uzávěru by bylo velice náročné ne-li téměř nemožné a nákladné vyrobit tvárník a tvárnici z jednoho kusu polotovaru, hlavně u vícenásobné formy. V případě jejich poškození by byla i vysoká cena na jejich opravu, případně pořízení nových tvarových částí. Z toho důvodu byly navržnuty pro každý otisk součásti tvarové vložky, jak pro tvárník, tak pro tvárnici. Na obrázku 49 jsou tyto tvarové vložky zobrazeny i s chladicími kanálky (nahore pro obal, dole pro závitovou vložku). Toto řešení umožňuje snadnou opravitelnost tvarových částí a případné zhotovení nových vložek, pokud dojde k jejich destrukci. Tvárníky budou zhotoveny z polotovaru kruhového průřezu o rozměrech Ø40 mm x 70 mm a tvárnice budou taky vyrobeny tyčoviny o rozměrech Ø56 mm x 36 mm.

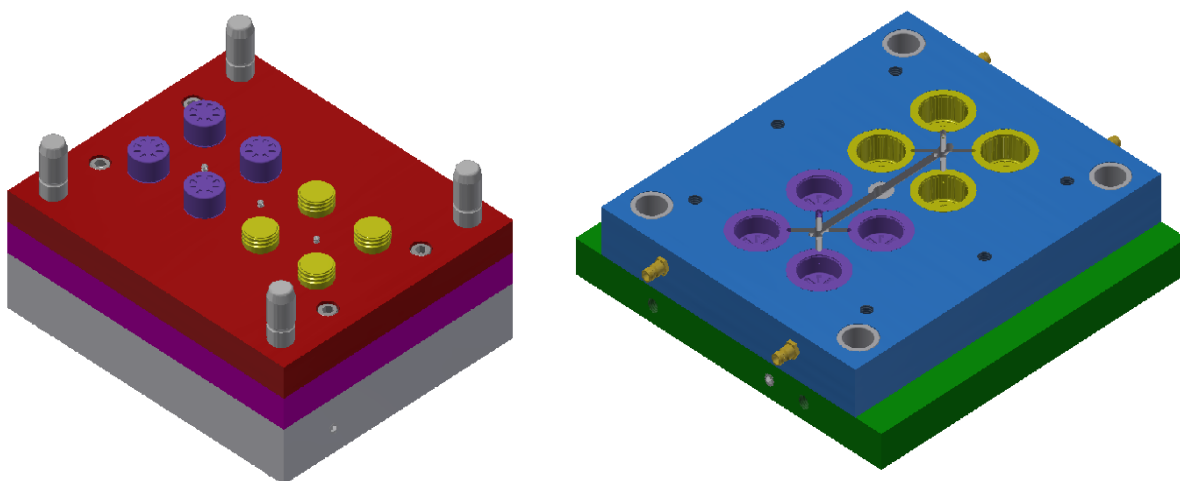


Obr. 49 Tvarové vložky.

Tvarové vložky budou vloženy do zhotovených otvorů tvarových desek. Na pevné straně formy budou tvárnice zajištěny pomocí upínací desky a pohyblivé části formy budou zajištěny pomocí podpěrné desky. Zaformované tvárnice a tvárníky jsou zobrazeny na obrázku 50.

Pohyblivá část formy

Pevná část formy



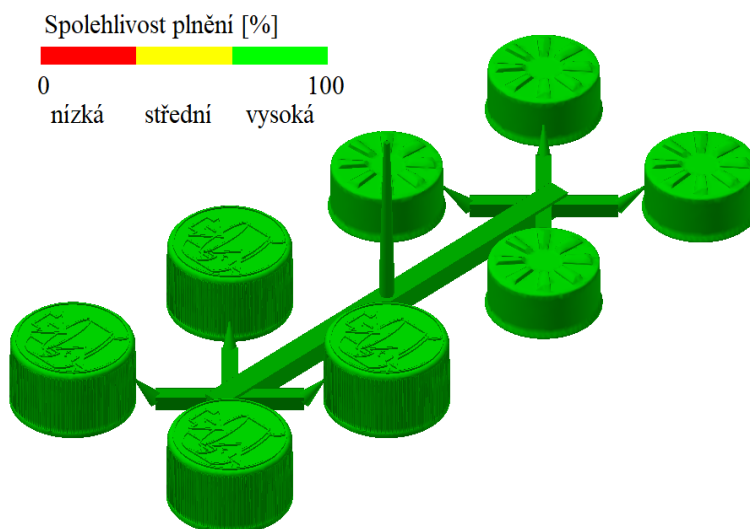
Obr. 50 Zaformované tvárnice a tvárníky v deskách formy.



Z důvodu, že na dutinu formy jsou požadované vysoké nároky na tvarovou stálost a oteřuvzdornost při zajištění dobré obrobiteľnosti, je tedy nutné po opracování nechat součásti zakalit na nejvyšší hodnotu tvrdosti, kterou může zvolený materiál dosáhnout. Na základě těchto požadavků je pro tvarové vložky zvolen materiál 1.2083 (dle EN ISO 4957 je značen X42Cr13). Jedná se o nástrojovou ocel, která se vyznačuje vysokou korozivzdorností odolností proti opotřebení, dobrou obrobiteľností a velmi dobrou leštitelností. V technologii zpracování plastů se využívá hlavně pro vložky dutin forem.

### 3.2.3 Vtoková soustava [19], [21]

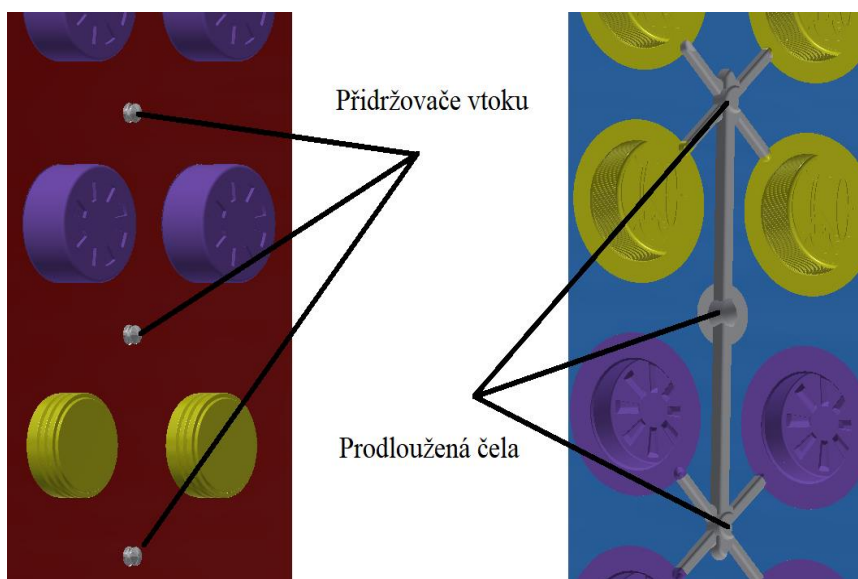
Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1, byla zvolena studená vtoková soustava s tunelovým ústím vtoku. Tunelové ústí vtoku bylo zvoleno z důvodu, aby došlo k samooddělení vtokové zbytku od vstřikovaných součástí při otevření vstřikovací formy a nemusel se ručně oddělovat vtokový zbytek. Pro tvar rozváděcích kanálků byl zvolen zaoblený lichoběžníkový průřez s úkosem  $5^\circ$  a je zhotoven v pevné části formy – lze vidět již na obrázku 50. Hlavní rozměr vtokového kanálu byl zvolen 6 mm a pro vedlejší vtokové kanálky byl vybrán hlavní rozměr 4 mm. Následně byla provedena analýza spolehlivosti plnění (obr. 51) v programu Autodesk Inventor 2017, kde došlo ke 100 % zaplnění dutiny.



Obr. 51 Analýza spolehlivosti plnění.

Pro rozvod taveniny z trysky plastikační jednotky vstřikovacího stroje k hlavnímu rozváděcímu kanálku byla zvolena vtoková tryska s průměrem 3,5 mm, úhlem rozšíření vtokového ústí  $3^\circ$  a s rádiusem 15,5 mm.

Dále aby bylo zajištěno vytažení vtokového zbytku z kanálků pevné části formy a jeho zajištění na pohyblivé části nástroje při otevření formy. V pohyblivé části jsou vloženy kolíkové přídržovače vtoku. Protože tyto kolíky jsou nepohyblivé a vystupují z pohyblivé části formy, tak bylo nutné zhotovit prodloužení čela vtokových kanálků, aby byl dostatečný prostor pro proudění taveniny při vstřikování. Pozice přídržovačů a prodloužených čel je zobrazena na obrázku 52.



Obr. 52 Zobrazení pozic přídržovačů vtoku a prodloužených čel.

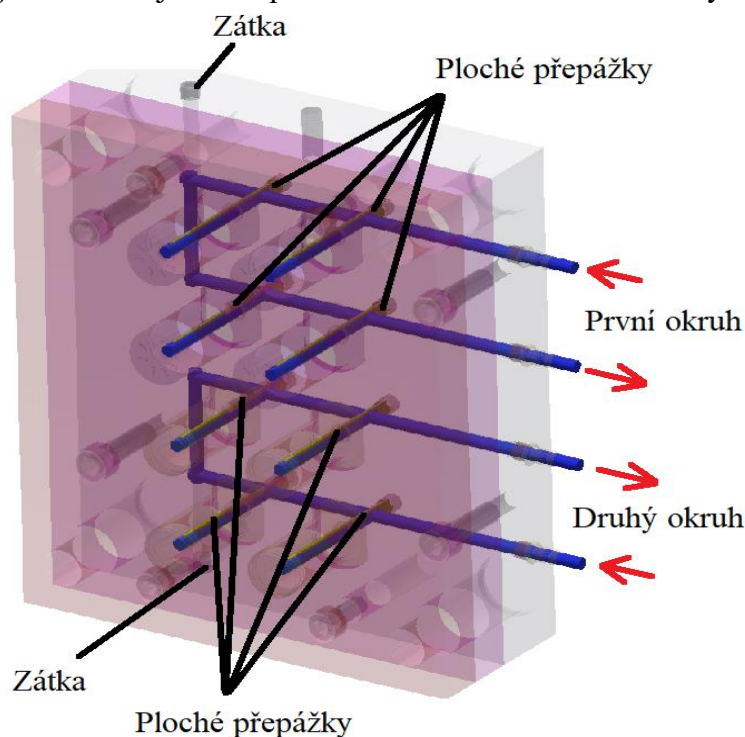


### 3.2.4 Temperační systém

Pro návrh temperační sítě posloužily data, které byly získány ze simulační analýzy v programu Autodesk Inventor 2017, kde simulace pracuje na principu rovnoměrného odvodu tepla ze stěn výstřiku. Simulace je zobrazena na obrázku 53. Z analýzy vyplývá, že na tvarových výstřicích určených pro funkci dětské pojistky, dochází k horšímu chlazení vlivem větší tloušťky stěny. Dále dochází ke špatnému chlazení vtokového zbytku, kvůli jeho velké tloušťce stěny.

Pro vstřikovací formu byl navržen temperační systém s celkem pěti okruhy chlazení.

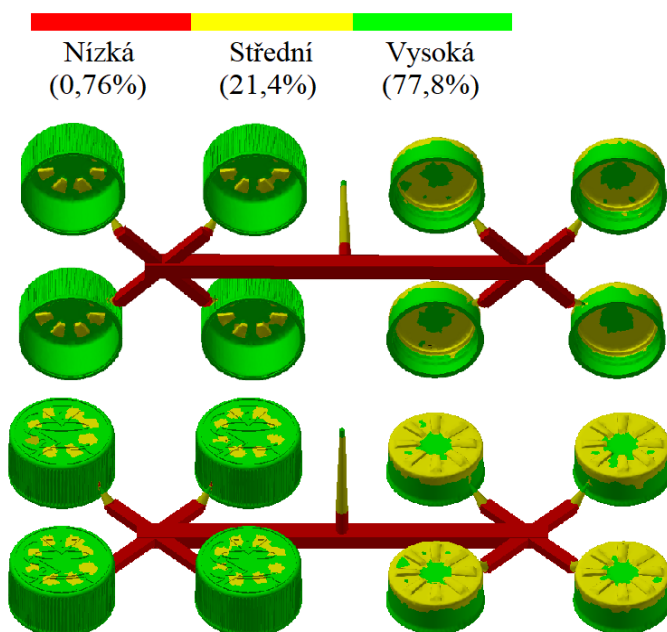
V pohyblivé části formy jsou umístěny dva okruhy chlazení, kdy jeden okruh je určen pro chlazení obalu uzávěru a druhý okruh je určen pro závitovou vložku.



Obr. 54 Temperační systém pohyblivé části formy.

přípojek. Systém temperace pohyblivé části formy je zobrazen na obrázku 54.

Pro pevnou část vstřikovací formy jsou navrženy tři temperační okruhy. Opět jeden temperační kruh slouží pro chlazení tvárnice obalu uzávěru, druhý okruh je určen pro chlazení tvárnice závitové vložky a třetí okruh zajišťuje chlazení tvarové desky. Zde je taky zvolen průměr kanálků 8 mm. Okruhy pro tvárnice začínají v upínací desce a jsou vedeny do míst, kde se nachází tvárnice. Zde je vyvrtána spojovací díra, která umožní tok chladicího média do tvárnice. V tvárnici je vyfrézována po jejím obvodu drážka, která má šířku 8 mm a hloubku 8 mm a na jejím konci je opět vyvrtána spojovací díra v upínací desce. Pro zajištění těsnosti okruhu jsou zde opět vloženy O-kroužky mezi tvárnici a upínací deskou a spojovací díry

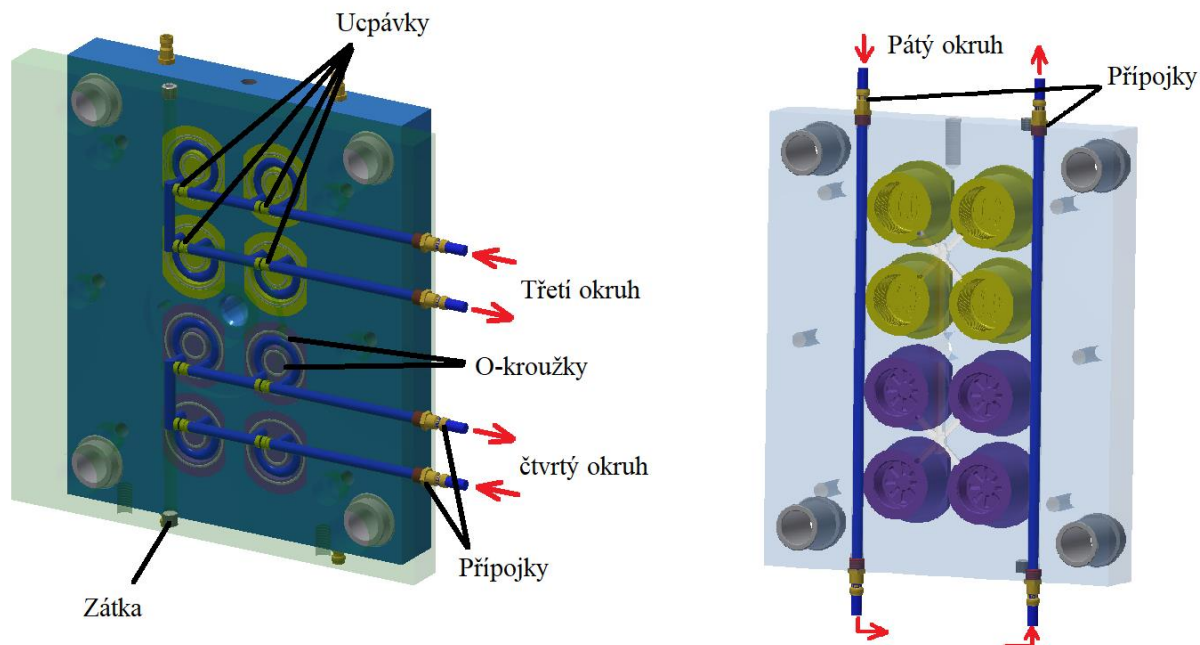


Obr. 53 Simulační analýza kvality chlazení

Kvůli rozměrnosti formy a snadnějšímu zhotovení temperačních kanálků byl pro jejich velikost zvolen průměr 8 mm. Začátek obou temperačních okruhů začíná v podpěrné desce a pomocí plochých přepážek je temperační médium dopravováno k čele tvárníků. Aby byla zajištěna těsnost okruhu, jsou do přechodů mezi podpěrnou deskou a tvárníky vloženy pryžové O-kroužky a vyvrtané spojovací díry jsou utěsněny zátkou. Okruhy končí v podpěrné desce. U těchto okruhů chlazení je nutné dbát na dostatečný tlak chladicí kapaliny, aby došlo k překonání plochých přepážek. Vstupy a výstupy temperačních okruhů jsou řešen pomocí

v upínací desce jsou utěsněny zátkou. Tímto principem jsou vedeny temperační kanálky ke všem otiskům formy. Pro zajištění správného toku temperačního média jsou do kanálku vloženy ucpávky a opět vstupy a výstupy temperačních okruhů jsou řešeny pomocí přípojek. Systém temperace tvárnice je znázorněn na obrázku 55 vlevo.

Jak již bylo uvedeno, poslední, pátý okruh, temperačního systému je umístěn ve tvarové desce pevné části formy. Okruh je navržen velice jednoduše, protože se jedná pouze o dvě vyvrtané díry o průměru 8 mm skrze celou desku kvůli nedostatku prostoru. Znovu jsou použity přípojky pro vstup a výstup temperačního média. Tento okruh je spíše určen k regulaci teploty formy. Pátý okruh je zobrazen na obrázku 55 vpravo.

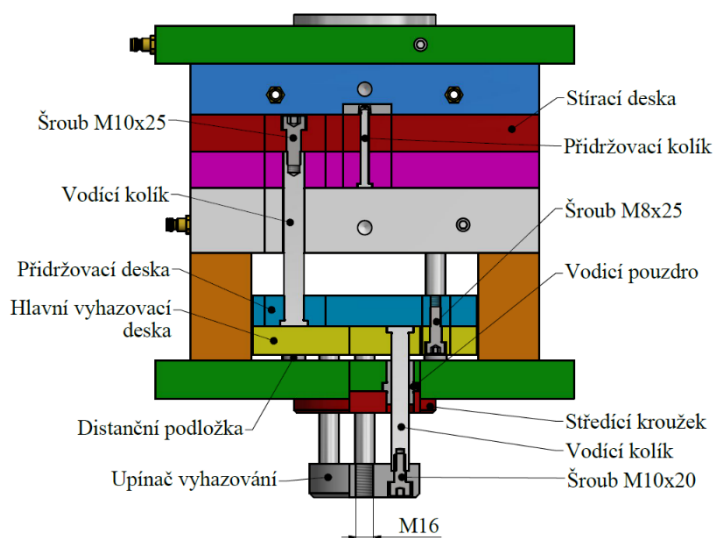


Obr. 55 Temperační systém pevné části formy.

### 3.2.5 Vyhazovací systém

V momentě, kdy dojde k otevření formy, je nutné zajistit účinné vyjmutí výstřiků a vtokového zbytku z pohyblivé části formy. V tomto případě je zvolen systém vyhazování pomocí stírací desky, který zaručuje rovnoměrně rozložení sil po celé ploše dílců a nedochází tak k jejich deformacím. Celý systém se skládá z několika součástí a je znázorněn na obrázku 56.

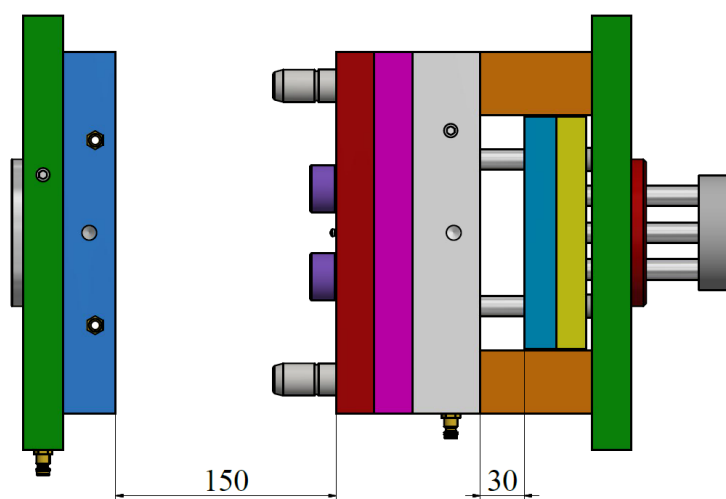
Stírací deska je v kontaktu se spodní stranou výstřiku a je v ní zhotoveno 8 otvorů (4 x Ø32,23 a 4 x Ø28,56) kvůli přítomnosti tvárnků a další tři otvory pro přídržovače vtoku. Stírací deska je spojena vodícími kolíky (zajištěna je imbusovými šrouby) k přídržovací desce, která je připevněna k hlavní vyhazovací desce pomocí imbusových šroubů. Na tento systém je přenášena vyhazovací síla od upínače pomocí vodících kolíků, které jsou zaformované v hlavní vyhazovací desce. Tyto



Obr. 56 Vyhazovací systém.

kolíky jsou vedeny pomocí pouzder, které jsou vloženy do upínací desky pohyblivé části formy a jejich poloha je vymezena středícím kroužkem. V upínací vyhazování je zhotoven závit M16, který je určen k připojení k vyhazovacímu mechanismu hydraulického vstřikovacího stroje. Nakonec, aby vyhazovací desky nedosadaly přímo na upínací desku, je zde vymezen prostor pomocí distančních položek.

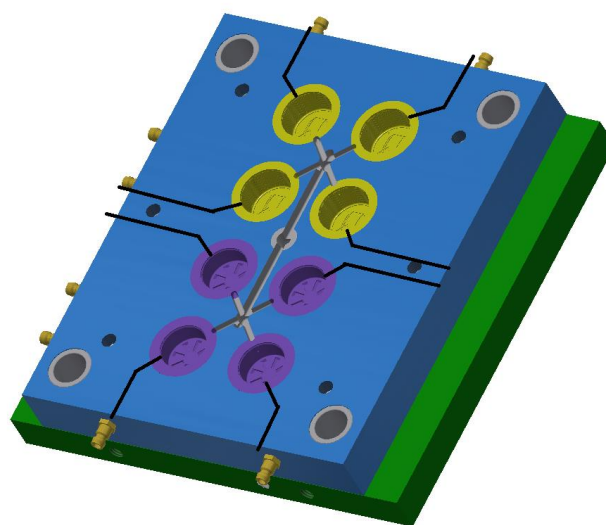
Velikost zdvihu vyhazovacího systému je 30 mm, který plně dostačuje k vyhození výstřiků z formy vzhledem k jejich tvaru. Aby bylo zajištěno bezpečné vyhození dílců včetně vtokového zbytku, je zvolena minimální hodnota pro rozevření formy na 150 mm (obr. 57).



Obr. 57 Znárodnění rozevření formy.

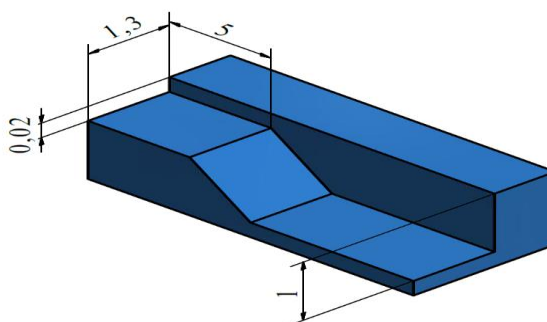
### 3.2.6 Návrh odvzdušnění

Pro návrh polohy odvzdušňovacích kanálků byla použita simulace plnění dutiny formy v programu Autodesk Inventor 2018. Tato analýza je přiložena v příloze 5 a jsou na ní zobrazeny časové úseky plnění. Odvzdušňovací kanálky budou zhotoveny v pevné části formy a jejich poloha je znázorněna na obrázku 58. Kanálky budou realizovány v celkem osmi místech, kdy každý jeden kanálek bude veden od jedné dutiny formy. Podle vztahu 3.26 byla stanovena nutná plocha k odvzdušnění dutina na  $0,204 \text{ mm}^2$ . Na základě této plochy a počtu odvzdušňovacích kanálků jsou navrženy kanálky, které mají hloubku 0,02 mm, jejich šířka bude 1,3 mm a délka bude 5 mm. Následně na tyto kanálky budou napojeny odvádějící kanály s hloubkou 1 mm a šířkou 1,3 mm. Detail kanálku je zobrazen na obrázku 59.



Obr. 58 Návrh odvzdušnění.

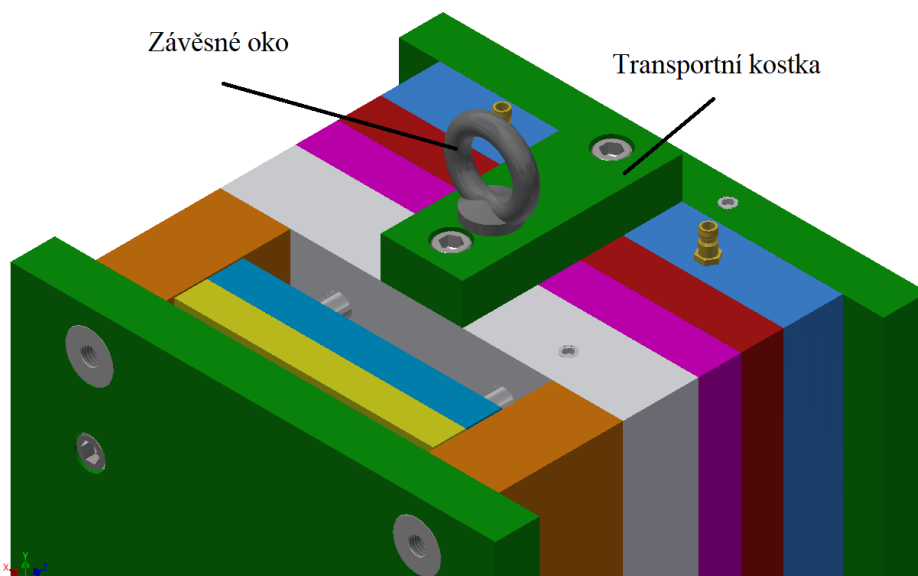
Tento návrh odvzdušnění se bude realizovat až po odzkoušení formy a pouze v případě, bude-li to nutné. Je to z důvodu, že může být dostatečné odvzdušnění způsobené netěsnostmi mezi tvárníky a stírací deskou nebo mezi přídržovači vtoku a stírací deskou.



Obr. 59 Profil odvzdušňovacího kanálku

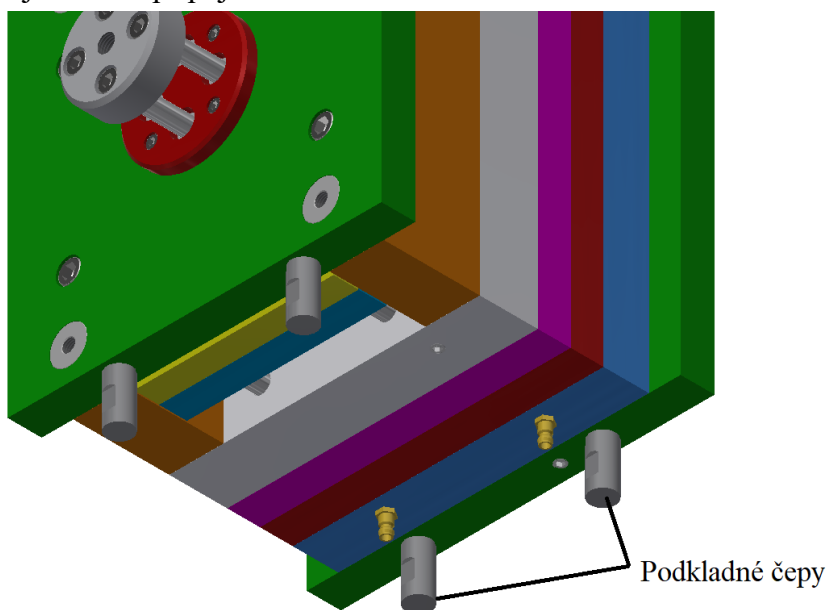
### 3.2.7 Manipulační prvky formy [19], [32]

Jedním ze znaků, kterým se vyznačují vstřikovací formy, jsou velké rozměry a s tím spojená velká hmotnost. Hmotnost vstřikovacích forem se pohybuje v rozmezí stovek kilogramů až několik tun v závislosti na hmotnosti vstřikované součásti. V případě vícenásobných forem může hmotnost formy ještě výrazně navýšit. Z tohoto důvodu se při manipulaci s formami využívá vysokozdvížných vozíků nebo dílenských jeřábů. Aby bylo možné s formou manipulovat, byly pro ni navrženy manipulační prvky. Jedná se o transportní kostku a závěsné oko, kdy jejich nosnost musí být vyšší, než je hmotnost formy. Hmotnost navržené formy byla zjištěna v programu Autodesk Inventor 2017 a je přibližně 145 kg s vnějšími rozměry rámu 296 mm x 296 mm x 264 mm (připojení k vyhazování není zahrnuto). Pro manipulaci bylo zvoleno závěsné oko od firmy Meusburger se závitem M12 s maximální nosností 240 kg, které je vloženo do transportní kostky (obr. 60), která zabráňuje rozevření formy během manipulace. Oko se nachází přibližně v ose těžiště vstřikovací formy, které bylo určeno pomocí programu Autodesk Inventor 2017.



Obr. 60 Manipulační prvky.

Dalším manipulačním prvkem formy jsou podkladné čepy (nožičky) a jejich umístění je znázorněno na obrázku 61. Jsou určeny především k manipulaci za pomoci vysokozdvížného vozíku a zabráňují uražení přípojek v tvarové desce.



Obr. 61 Rozvržení podkladných čepů.



### 3.3 Volba vstřikovacího stroje [36], [37]

Správná volba vstřikovacího stroje je důležitá pro každý technologický návrh vstřikovací formy. Při volbě stroje je nutné zvážit mnoho faktorů. Volba stroje byla především provedena na základě výpočtů technologických parametrů. Mezi nejdůležitější parametry se řadí například vstřikovací tlak, uzavírací síla, průměr šneku, velikost dávky taveniny a plastikační kapacita.

Při správné volbě stroje je důležité, aby parametry stroje mírně převyšovaly ty vypočítané. To znamená, že je snaha volit takový stroj, kdy jsou jeho parametry využity skoro na maximum. Pokud by byl zvolen stroj s mnohonásobně vyššími parametry, vedlo by to k nekomickému provozu.

Pro navrhnout vstřikovací formu byl zvolen vstřikovací stroj Chen Hsong Easymaster EM80 – SVP/2 od firmy Chen Hsong (obr. 62). V tabulce 9 jsou porovnány parametry stroje s vypočítanými a konstrukčními hodnotami z kapitoly 3. Více informací o stroje je uvedeno v příloze 7.



Obr. 62 Vstřikovací stroj Chen Hsong Easymaster EM80 – SVP/2 [37].

Tab. 9 Porovnání parametrů stroje s hodnotami návrhu.

Parametry	Hodnoty stroje	Hodnoty návrhu	Splněno/nesplněno
Vstřikovací tlak [bar]	2 140	1000	Splněno
Uzavírací síla [kN]	800	560	Splněno
Průměr šneku [mm]	31, 36, 42	30	Nesplněno
Velikost dávky taveniny [cm <sup>3</sup> ]	113	30,4	Splněno
Plastikační kapacita [kg/hod]	23,76	8,5	Splněno
Vyhazovací síla [kN]	27	11,65	Splněno
Výška formy [mm]	130 až 320	264	Splněno
Vzdálenost mezi sloupky [mm]	355 x 300	296 x 296	Splněno
Zdvih otevření [mm]	320	150	Splněno
Zdvih vyhazovače [mm]	80	30	Splněno

Protože vstřikovací stroj nespĺňuje hodnoty průměru šneku, ale ve vztahu 3.14 – stanovení optimálního průměru šneku vyšel interval 24,1 mm až 33,74 mm, bude zvolen šnek o průměru 31 mm a pro kontrolu jsou přepočítány hodnoty podle vztahů 3.15, 3.16 a 3.17.

- Stanovení nové délky dráhy pohybu šneku  $L_S$  podle vztahu 3.15:

$$L_S = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot V_D}{\pi \cdot D_s^2} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 33,2}{\pi \cdot 31^2} = 43,99 \doteq 44 \text{ mm}$$

- Kontrola podmínky podle vztahu 3.16:

$$1 \cdot D_s < L_S < 3 \cdot D_s$$

$$1 \cdot 31 < L_S < 3 \cdot 31$$

$$31 < 44 < 93 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- Výpočet otáček šneku vstřikovacího stroje  $n_s$  podle vztahu 3.17:

$$n_s = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v}{\pi \cdot D_s} = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 0,3}{\pi \cdot 31} = 184,8 \text{ min}^{-1}$$

Z přepočítaných parametrů vyplývá, že zvolený stroj může být použit pro navrhnutou vstřikovací formu.

### 3.4 Technologický postup výroby

Proces výroby každé součásti by se měl řídit podle určitého technologického postupu, ve kterém jsou zahrnuty všechny operace pro zhotovení kompletní součásti. Proto je navržen technologický postup pro uzávěr, který je uveden v tabulce 10.

Tab. 10 Technologický postup.

Název součásti		Uzávěr s dětskou pojistkou
Typ materiálu		Borealis HD120MO – PP
Číslo operace	Pracoviště	Popis
1	Sklad	Příjem materiálu
2	-	Přeprava materiálu do vstřikovny
3	Vstřikovna	Příprava vstřikovací formy – transport formy, upnutí na stroj, připojení dodatečných systémů, kontrola systému
4	Vstřikovna	Nastavení parametrů stroje, příprava materiálu, vložení materiálu do násypky
5	Vstřikovna	Zahájení výroby
6	Vstřikovna	Kontrola prvních vyrobených kusů a případné přenastavení vstupních parametrů v případě zmetků
7	Vstřikovna	Zahájení sériové výroby
8	Vstřikovna	Přesypání vyrobených součástí do přepravních beden
9	Vstřikovna	Drcení vtokových zbytků a zamíchání drtě do základního materiálu (maximálně 20 %)
10	Vstřikovna	Kompletace uzávěru a případné vkládání těsnění, vizuální kontrola
11	Vstřikovna	Uložení hotových dílů do krabic, označení krabic
12	-	Přeprava do expedičního skladu
13	Sklad	Expedice



#### 4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [20], [32], [33], [38], [39], [40], [41]

Technicko – ekonomické zhodnocení je součástí každého technologického návrhu výroby a pojednává o vyčíslení nákladů pro výrobu jednoho kusu součásti – uzávěru s dětskou pojistkou. Jedná se pouze teoretický výpočet nákladů, protože některé výdaje jsou odhadovány, případně voleny na základě podobnosti s jinými výdaji. Výrobní náklady jsou rozděleny na variabilní náklady (jsou ovlivněny počtem kusů), fixní náklady (nemění se s počtem kusů) a zisku. Pro stanovení celkových nákladů jsou využity údaje uvedené v tabulce 11.

Do výpočtu nákladů nejsou zahrnuty náklady spojené s drcením vtokových zbytků a následné použití drtě pro další výrobu a náklady za vkládání těsnění do uzávěrů. Dále režijní náklady jsou odhadnuty, protože nejsou přesně známy a v každé firmě se mohou lišit.

Protože některé položky jsou v cizích měnách, tak je použit kurz ČNB ke dni 18. 5. 2018, který byl 25,59 Kč za 1 € a 21,718 Kč za 1 \$.

Pro materiál PP – homopolymer byla použita cena materiálu ke dni 18. 4. 2018, která se pohybovala mezi 1365 až 1405 €/t. Pro výpočet byla zvolena cena 1405 €/t. Cena jednoho kilogramu granulátu je tedy 35,96 Kč.

Tab. 11 Základní údaje pro výpočet výrobních nákladů.

Položka	Označení	Hodnota	Jednotka
Velikost celé produkce	N	750 000	ks
Celková hmotnost výstřiku	G	4,27	g
Hmotnost vtokového zbytku	G <sub>zb</sub>	8,02	g
Násobnost formy	n <sub>T</sub>	4	-
Doba vstřikovací cyklu	t <sub>c</sub>	12	s
Cena materiálu	C <sub>PP</sub>	35,96	Kč/kg
Cena za kompletaci uzávěru	C <sub>kompl</sub>	0,3	Kč/ks
Cena stroje	C <sub>s</sub>	781 848	Kč
Cena provozu stroje (odhadnuto)	C <sub>ps</sub>	400	Kč/hod
Hrubá mzda operátora (odhadnuto)	N <sub>hm</sub>	150	Kč/hod
Životnost formy (odhadnuto, počet cyklů)	Ž <sub>f</sub>	1 500 000	-
Doba odpisu stroje	R <sub>o</sub>	5	rok
Požadovaný zisk	Z	25	%

- Náklady na formu – jsou složeny z výdajů za konstrukční a technologický práce, z výdajů za výrobu a odzkoušení formy a z výdajů za materiál (normalizované a nenormalizované součásti). Cena za konstrukční a technologické práce je odhadnuta na 50 000 Kč a cena za výrobu a odzkoušení formy je odhadnuta na 160 000 Kč. Pro stanovení ceny materiálu byl použit katalog firmy Meusburger, kdy ceny za normalizované součásti jsou stanoveny přímo z katalogu a ceny nenormalizovaných dílů je odhadnuta na základě podobných dílů z katalogu. Protože forma je složena z velkého počtu různých dílů (součásti temperačního systému, vodící elementy, atd.), tak nebudou rozepsány a jejich cena bude uvedena za všechny díly dohromady. Přehled cen za jednotlivé díly formy jsou uvedeny v tabulce 12.

Tab. 12 Ceny pro jednotlivé díly formy [32].

Název položky	počet kusů	Cena za všechny kusy [€]
Upínací deska	2	222
Tvarová deska – tloušťka 36 mm	1	180
Tvarová deska – tloušťka 26 mm	1	152
Tvarová vložka – Ø 56 mm	8	304
Tvarová vložka – Ø 40 mm	8	304
Stírací deska	1	239
Podpěrná deska	1	128
Boční rozpěry	2	124
Desky vyhazovacího systému	2	132
Středící kroužek	2	35,4
Upínač vyhazovače	1	30
Vtoková vložka	1	35
Vodící elementy	-	302,8
Součásti temperačního systému	-	91,6
Manipulační díly	-	37
Spojovací díly	-	14
<b>Celkem [€]</b>		<b>2330,8</b>
<b>Celkem [Kč]</b>		<b>59645,2</b>

Celkové náklady na formu  $C_f$ :

$$C_f = N_k + N_v + N_m = 50\,000 + 160\,000 + 59\,645,2 = 269\,645,2 \text{ Kč} \quad (4.1)$$

Kde:  $N_k$  – náklady na konstrukci formy [Kč],

$N_v$  – náklady na výrobu formy [Kč],

$N_m$  – náklady na materiál formy [Kč].

- Přímé náklady – výdaje, které se vztahují k dané zakázce. Patří zde náklady na spotřebu základního materiálu, provoz stroje, mzdy atd.

Stanovení hmotnosti připadající na jednu součást  $G_{\text{celk}}$ :

$$G_{\text{celk}} = G + \frac{G_{\text{zb}}}{n_T} = 4,27 + \frac{8,02}{4} = 6,275 \text{ g} \quad (4.2)$$

Kde:  $G$  – celková hmotnost výstřiku (viz tab. 11) [g],

$G_{\text{zb}}$  – hmotnost vtokového zbytku (viz tab. 11) [g],

$n_T$  – násobnost formy (viz tab. 11) [-].

Výpočet potřebného množství materiálu  $M_{\text{celk}}$  pro výrobní sérii 750 000 ks:

$$M_{\text{celk}} = N \cdot \frac{G_{\text{celk}}}{1000} = 750\,000 \cdot \frac{6,275}{1000} = 4706,25 \text{ kg} \quad (4.3)$$

Kde:  $N$  – velikost výrobní série (viz tab. 11) [-].

Výpočet nákladů za materiál  $N_{mat}$  pro výrobní sérii 750 000 ks:

$$N_{mat} = M_{celk} \cdot C_{pp} = 4706,25 \cdot 35,96 = 169\,236,75 \text{ Kč} \quad (4.4)$$

Kde:  $C_{pp}$  – cena materiálu (viz tab. 9) [Kč/kg].

Výpočet nákladů za materiál pro jeden vstřík  $N_{imat}$ :

$$N_{imat} = \frac{N_{mat}}{N} = \frac{169\,236,75}{750\,000} = 0,226 \text{ Kč} \quad (4.5)$$

Výpočet nákladů na kompletaci  $N_{kompl}$  pro výrobní sérii 750 000 ks:

$$N_{kompl} = N \cdot C_{kompl} = 750\,000 \cdot 0,3 = 225\,000 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

Kde:  $C_{kompl}$  – cena za kompletaci uzávěru (viz tab. 11) [Kč/ks].

Stanovení výše nákladů na provoz vstříkovací stroje Easymaster EM80 – SPV/2 byl proveden na základě čistého strojního času. Pro určení výše nákladů na provoz byla zjištěna i hodnota ceny amortizace na jednu hodinu provozu stroje, že které se následně zjistil jeho roční podíl odpisu zahrnutý do této výrobní zakázky.

Výpočet ceny amortizace stroje  $C_{am}$  na jednu hodinu provozu:

$$C_{am} = \frac{C_s}{n_{mp} \cdot n_{pp} \cdot h_{pp} \cdot R_o} = \frac{781\,848}{12 \cdot 20 \cdot 24 \cdot 5} = 27,15 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

Kde:  $C_s$  – cena stroje (viz tab. 11) [Kč],

$n_{mp}$  – počet měsíců v roce [-],

$n_{pp}$  – počet pracovních dnů v měsíci, zvoleno 20 [-],

$h_{pp}$  – počet hodin za jeden den při třisměnném provozu [-],

$R_o$  – počet roků, po které se bude stroj odepisovat (viz tab.11)[-].

Stanovení čistého strojního času  $t_{čsč}$ :

$$t_{čsč} = \frac{N \cdot t_c}{n_T \cdot 3600} = \frac{750\,000 \cdot 12}{4 \cdot 3600} = 625 \text{ h} \quad (4.8)$$

Kde:  $t_c$  – doba vstříkovacího cyklu (viz tab. 11) [s].

Výpočet celkového času produkce  $t_{čp}$ :

$$t_{čp} = \frac{t_{čsč}}{K} = \frac{625}{0,8} = 781,25 \text{ h} \quad (4.9)$$

Kde:  $K$  – koeficient využití výrobního času (0,7–0,9), zvoleno 0,8 [-].

Výpočet celkových nákladů na provoz stroje  $N_{st}$  pro výrobu 750 000 ks:

$$N_{st} = t_{čp} \cdot (C_{ps} + C_{am}) = 781,25 \cdot (400 + 27,15) = 333\,711 \text{ Kč} \quad (4.10)$$

Kde:  $C_{ps}$  – cena provozu stroje (viz tab. 11) [Kč/h].

Výpočet nákladů na amortizaci vstříkovací formy  $N_f$ :

$$N_f = \frac{C_f \cdot N}{\check{Z}_f \cdot n_T} = \frac{269\,645,2 \cdot 750\,000}{1\,500\,000 \cdot 4} = 33\,706 \text{ Kč} \quad (4.11)$$

Kde:  $\check{Z}_f$  – životnost formy – počet cyklů (viz tab. 11) [-],

$C_f$  – cena vstříkovací formy [Kč].

Stanovení nákladů na mzdu operáto  $N_{mzda}$ :

$$N_{mzda} = t_{čp} \cdot N_{hm} = 781,25 \cdot 150 = 117\,187,5 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

Kde:  $N_{hm}$  – hrubá mzda operátora (viz tab. 11) [Kč/h].

Výpočet celkových přímých nákladů  $N_{př}$  na produkci 750 000 ks:

$$N_{př} = N_{mat} + N_{kompl} + N_{st} + N_f + N_{mzda} \quad (4.13)$$

$$N_{př} = 169\,236,75 + 225\,000 + 333\,711 + 33\,706 + 117\,187,5$$

$$N_{př} = 878\,841,25 \text{ Kč}$$

- Nepřímé náklady – označovány i jako režijní náklady. Jedná se o všechny výdaje, které jsou spojeny s řízením a organizací firmy a nejsou nijak ovlivněny výrobní zakázkou – jsou fixní. Jak již bylo zmíněno výše, podíly jednotlivých režijních nákladů jsou odhadované, protože se můžou v každé firmě lišit.

Výrobní režie – patří zde výdaje za spotřebu energie během výroby, opravy, údržba atd. Výše těchto nákladů je odhanuta na částku 150 % mzdových nákladů ( $VR = 1,5$ ) a je vypočtena následovně:

$$N_{VR} = VR \cdot N_{mzda} = 1,5 \cdot 117\,187,5 = 175\,781,25 \text{ Kč} \quad (4.14)$$

Správní režie – patří zde náklady související se správou a řízením podniku (náklady na personalistiku, účetnictví, management, atd.). Velikost správní režie je odhadnuta v hodnotě 70 % mzdových nákladů ( $SR = 0,7$ ) a je stanovena následujícím vztahem:

$$N_{SR} = SR \cdot N_{mzda} = 0,7 \cdot 117\,187,5 = 82\,031,25 \text{ Kč} \quad (4.15)$$

Odbytové režie – jsou náklady spojené s uskladněním materiálu, skladováním hotových výrobků a expedicí výrobků. Náklady na odbytové režije jsou odhadnuty v hodnotě 30 % mzdových nákladů ( $OR = 0,3$ ) a je vypočtena následovně:

$$N_{OR} = OR \cdot N_{mzda} = 0,3 \cdot 117\,187,5 = 35\,156,25 \text{ Kč} \quad (4.16)$$

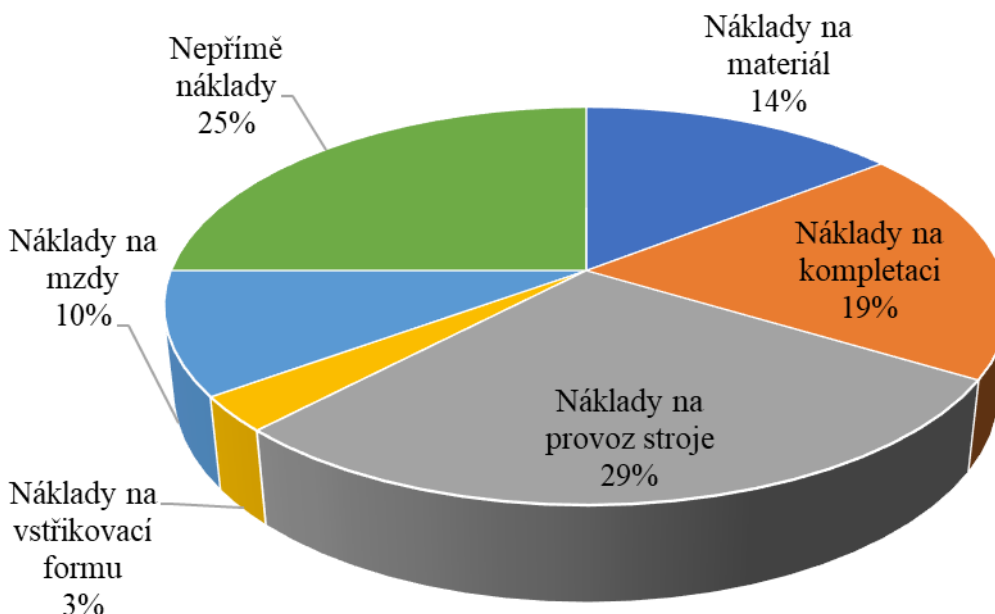
Celkový souhrn všech nepřímých nákladů  $N_{nepř}$  pro výrobu 750 000 ks:

$$N_{nepř} = N_{VR} + N_{SR} + N_{OR} = 175\,781,25 + 82\,031,25 + 35\,156,25 \quad (4.17)$$

$$N_{nepř} = 292\,968,75 \text{ Kč}$$

- Celkové výrobní náklady – jsou určeny pro stanovení celkové hodnoty ročního zisku. Jedná se o součet přímých a nepřímých nákladů. Na obrázku 63 jsou následně zobrazeny jednotlivé podíly z celkových výrobních nákladů. Celkové výrobní náklady  $N_{celk}$  jsou stanoveny vztahem:

$$N_{celk} = N_{př} + N_{nepř} = 878\,841,25 + 292\,968,75 = 1\,171\,810 \text{ Kč} \quad (4.18)$$



Obr. 63 Zobrazení podílů z celkových výrobních nákladů.

- Roční zisk – jeho výše je stanovena na 25 % z celkových výrobních nákladů. Jeho celková hodnota z dané výrobní série je vypočítána podle vztahu:

$$Z_{\text{celk}} = N_{\text{celk}} \cdot Z = 1\,171\,810 \cdot 0,25 = 292\,952,5 \text{ Kč} \quad (4.19)$$

Kde:  $Z$  – výše požadovaného zisku (viz tab. 11),  $Z = 0,25$  [-].

Výpočet celkové ceny jednoho kusu výrobku  $C_{1\text{celk}}$  bez DPH se ziskem 25 % je stanoven následujícím vztahem:

$$C_{1\text{celk}} = \frac{N_{\text{celk}} + Z_{\text{celk}}}{N} = \frac{1\,171\,810 + 292\,952,5}{750\,000} = 1,96 \text{ Kč} \quad (4.20)$$

Výše zisku z jedné součásti  $Z_1$  je dán vztahem:

$$Z_1 = \frac{Z_{\text{celk}}}{N} = \frac{292\,952,5}{750\,000} = 0,39 \text{ Kč} \quad (4.21)$$

- Stanovení bodu zvratu – udává množství vyrobených kusů, při kterých je nulový zisk, ale tržby plně pokrývají zisk. Pro jeho výpočet je potřeba stanovit variabilní náklady  $N_{1\text{VA}}$  na jeden kus následujícím vztahem:

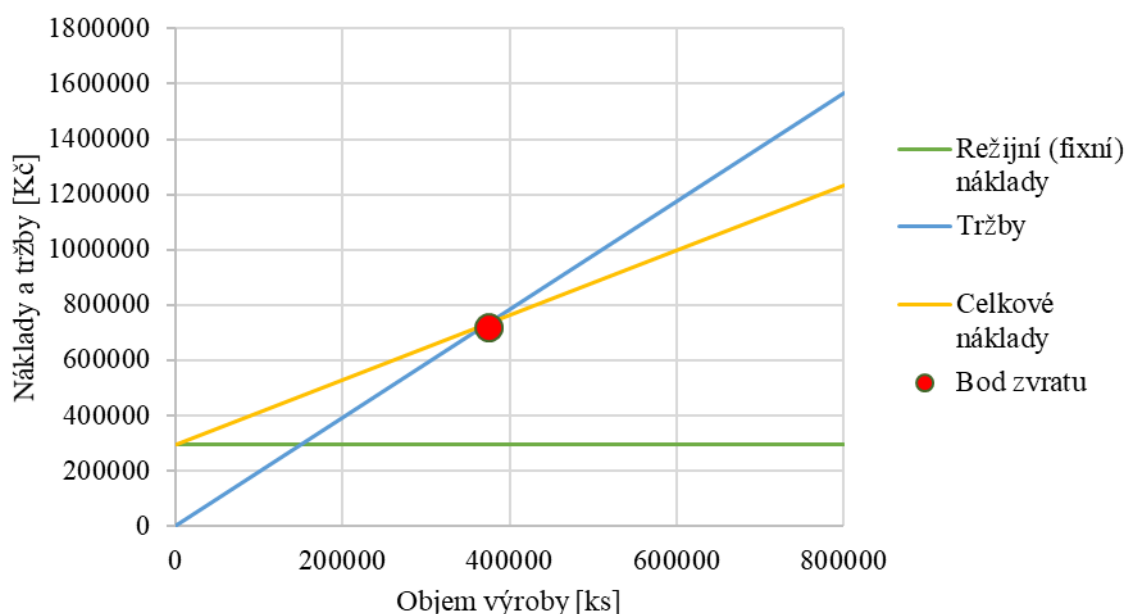
$$N_{1\text{VA}} = \frac{N_{\text{př}}}{N} = \frac{878\,841,25}{750\,000} = 1,172 \text{ Kč} \quad (4.22)$$

Bod zvratu  $Q_{\text{BZ}}$  je poté vypočítán podle rovnice:

$$Q_{\text{BZ}} = \frac{N_{\text{nepř}}}{C_{1\text{celk}} - N_{1\text{VA}}} = \frac{292\,968,75}{1,96 - 1,172} = 371\,788 \text{ Ks} \quad (4.23)$$

Po dosažení 371 788 prodaných kusů uzávěrů se začne generovat zisk. Při zadaném množství 750 000 kusů uzávěrů tak nedojde ke ztrátě a výroba bude zisková. Pro lepší představu je na obrázku 64 provedeno grafické znázornění bodu zvratu.

Závislost výše nákladů a tržeb na objemu produkce



Obr. 64 Závislost výše nákladů a tržeb na objemu produkce.

## 5 ZÁVĚRY

Pro výrobu uzávěru s dětskou pojistkou, který je složen ze dvou částí a určen pro plastové láhve s hrdlem PCO 1810 plněné chemickými látkami, byla na základě jeho rozboru vybrána výrobní technologie vstřikování plastů. Pro danou součást byl zvolen základní materiál polypropylen – homopolymer (PP) s obchodním označením Borealis HD120MO od firmy Borealis, který by měl zajistit požadované vlastnosti.

Při navrhování vstřikovací formy bylo zvoleno, že oba díly uzávěru se budou vyrábět v jedné vícenásobné formě. Poté byla určena poloha dělicí roviny u dolních okrajů dílců a byla navrhována studená vtoková soustava s tunelovým ústím vtoku. Při technologických výpočtech bylo zjištěno, že doba vstřikovacího cyklu je 12 sekund a pro danou produkci, která má být zhotovena do 30 dní je nejvhodnější čtyřnásobná vstřikovací forma (pro každý díl 4 otisky). Z hlediska složitosti tvaru dílů byla dutina formy navrhována z tvarových vložek, které jsou vloženy do tvarových desek kvůli snadnější výrobě a opravě. Pro kvalitní odvod tepla byl navržen temperační systém s pěti okruhy chlazení, kdy dva okruhy jsou určeny pro chlazení obalové části uzávěru, další dva okruhy jsou určeny pro závitovou vložku a pátý okruh slouží pro regulaci teploty formy. Pro vyhazování výstřiků z formy byl navržen vyhazovací systém pomocí stírací desky, který zajistí rovnoměrné působení vyhazovacích sil na výstřiky. Dále byl navržen systém odvodu vzduchu, který zabrání vzniku vad vlivem neodvedeného vzduchu a bude zhotoven v případě nutnosti až po odzkoušení formy. Normálie použité při návrhu vstřikovací formy jsou výrobky firmy Meusburger.

Na základě konstrukce formy a technologických výpočtů byl zvolen vstřikovací stroj Chen Hsong Easymaster EM 80 SVP/2 od firmy Chen Hsong, který splňuje všechny požadované parametry pro navrženou vstřikovací formu.

V technicko – ekonomické zhodnocení byl proveden výpočet nákladů na základě vstupních parametrů celou roční produkci, která činí 1 171 810 Kč. Na základě této hodnoty byla stanovena cena jednoho uzávěru, která je 1,96 Kč bez DPH. Nakonec bylo zjištěno, že od počtu 371 788 prodaných kusů uzávěrů by se měl generovat zisk.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. BĚLAŠKA, Karel. *Tvorba 3D modelu tříbřitého vrtáku pro 3D tisk*. Brno 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 49 s. 5 příloh. Vedoucí práce. Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.
2. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
3. BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. 2015 [cit. 2018-05-22]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
4. MOAYYEDIAN, Mehdi, Kazem ABHARY a Romeo MARIAN. New Design Feature of Mold in Injection Molding For Scrap Reduction. *Procedia Manufacturing* [online]. 2015, 2, 241-245 [cit. 2018-04-18]. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.042. ISSN 2351-9789. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978915000438>
5. DRGA, Tomáš. *Technologické řešení vstřikovacích nástrojů s orientací na polymerní materiály: Technological solution of injection molds with concentration on polymeric materials : zkrácená verze Ph.D. Thesis*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007. [cit. 2018-05-23]. ISBN 978-80-214-3488-2. Dostupné z: <http://www.vutium.vutbr.cz/tituly/pdf/ukazka/978-80-214-3488-2.pdf>
6. LENFELD, Petr. *Technologie II - Zpracování plastů: Skripta* [online]. TUL Liberec Fakulta Strojní [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/obsah\\_plasty.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm)
7. Pressco Technology INC. *Plastic closures*. [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.pressco.com/applications/plastic-2/plastic-closures/>
8. Lena Hračky, s.r.o.. *Mercedes požární auto*. [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.lena-hracky.cz/d-mercedes-pozarni-auto-.html>
9. Plunkett Associates. *Plastic parts*. [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.plunkettassociates.co.uk/materials/plastic.php>
10. Merceladick. *Plastic tables and chairs amazing with picture of plastic tables concept in design*. [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://marceladick.com/plastic-tables-and-chairs/plastic-tables-and-chairs-amazing-with-picture-of-plastic-tables-concept-in-design/>
11. Taizhou Yeekool Machine & Mould Co.,Ltd. *Taizhou Yeekool Machine & Mould Co.,Ltd*. [online]. Aoan Industrial Area, Huangyan, Taizhou, Zhejiang, China: yeekool, 2014-2017 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://www.yeekool.com/pet-preform/141.html>
12. AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. 2015 [cit. 2018-05-22]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Cover.html>
13. LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. 2015 [cit. 2018-05-22]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Impresum.html>
14. 14220. *Tváření plastů a výroba forem I*. [online]. 2014 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-form-i/>
15. Processing: Permanent Mould Casting. *Learn easy* [online]. 2014 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.learneasy.info/MDME/MEMmods/MEM30007A/processing/processing.html>

16. MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREB. *How to make injection molds*. 3rd ed. Munich: Hanser, 2001. ISBN 34-462-1256-6.
17. Sinotech. SINOTECH, Inc. *Injection molding* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.sinotech.com/injectionMolded.html>
18. SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. Praha: Verlag Dashofer, 2001. ISBN 80-8622-15-7.
19. BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 2015 [cit. 2018-05-22]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Impresum.html>
20. KANDUS, Bohumil. *Technologie zpracování plastů (HTZ): Přednášky a cvičení*. Obor technologie tváření kovů a plastů, Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství VUT Brno, 2016.
21. ŽÁK, Ladislav. VUT. *Vstřikovací formy* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn\\_tvareci\\_nastroje\\_vstrikovaci\\_formy\\_zak.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf)
22. Tváření plastů a výroba forem II.: *Vyroba forem pro vstřikování termoplastů*. [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-form-ii/>
23. HYNEK, M. Eduard MÜLLER a Štěpán HELLER. *Vyhazovací sestava a vyhazovače*. [online]. Plzeň 2013. Západočeská univerzita, Katedra konstruování strojů, Fakulta strojní. 16 s. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/27750424-Vyhazovaci-sestava-a-vyhazovace.html>
24. HYNEK, Martin, Eduard MÜLLER a Štěpán HELLER. *Studené a živé vtokové systémy* [online]. Plzeň 2013. Západočeská univerzita, Katedra konstruování strojů, Fakulta strojní. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: [http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publikace/KA05\\_Studene\\_a\\_zive\\_vtokove\\_systemy.pdf](http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf)
25. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-833-5.
26. REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 2002. ISBN 34-462-1659-6.
27. Injection Molding. Product Center Thermoplastic Polyurethanes [online]. 2016 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.tpu.covestro.com/en/Technologies/Processing/Injection-Molding>
28. Vstřikovací lis na plasty. *Lis na plasty* [online]. 2015 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.lis-na-plasty.cz/>
29. Borealis. *Polypropylene HD120MO*. Technical data Sheet. 2008. [online] [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.arcopolimeri.com/UserFiles/files/ProdottiPlastics/Borealis%20HD%20120%20MO%20tech.pdf>
30. Engel. *Data materiálů pro vstřikování*. Tabulka materiálových vlastností polymerů. Praha
31. INEOS, Olefins & Polymers USA. *Typical Engineering properties of polypropylene*. [online] [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.ineos.com/globalassets/ineos-group/businesses/ineos-olefins-and-polymers-usa/products/technical-information--patents/ineos-engineering-properties-of-pp.pdf>
32. Meusburger. *Online katalog produktů* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/>

33. PRECIZ. *Jakosti dle chemické analýzy, ocel č. 1.1730*. [online]. 2016. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby/prevodnik-materialu/details/1/15-15>
34. PRECIZ. *Jakosti dle chemické analýzy, ocel č. 1.2312*. [online]. 2016. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby/prevodnik-materialu/details/1/8-8>
35. PRECIZ. *Jakosti dle chemické analýzy, ocel č. 1.2083*. [online]. 2016. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby/prevodnik-materialu/details/1/11-11>
36. ŠMÍD, Petr. *Vstřikovací lis*. [elektronická pošta]. Message to: kamabe@email.cz. 24. 4. 2018 10:26. [cit. 2018-5-23]. Osobní komunikace.
37. CHEN HSONG. *Specifications*. [online]. 2017-2018. [cit. 2018-05-23] <https://chenhsong.com/events/kshow/em80/>
38. Česká národní banka. Kurzy devizového trhu dne 18. 5. 2018. [online]. 2003-2018. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [https://www.cnb.cz/cs/financni\\_trhy/devizovy\\_trh/kurzy\\_devizoveho\\_trhu/denni\\_kurz.jsp](https://www.cnb.cz/cs/financni_trhy/devizovy_trh/kurzy_devizoveho_trhu/denni_kurz.jsp)
39. Plastics News Europe. *Polymer prices*. [online] 4. May 2018. [cit. 2018-5-23]. Dostupné z: <http://www.plasticsnewseurope.com/topics/1039/opinions>
40. SlidePlayer. *Základní veličiny efektivnosti podnikání*. [online]. 2018 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2849890/>
41. SYNEK, Miloslav. *Výpočty v ekonomice a řízení průmyslového podniku: vysokoškolská příručka pro vysoké školy ekonomické*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Popis	Jednotka
3D	Trojrozměrný	[-]
$A_{proj}$	Plocha průmětu tvarové dutiny do dělicí roviny	[cm <sup>2</sup> ]
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren	[-]
$a_{eff}$	Efektivní tepelná vodivost	[mm <sup>2</sup> /s]
$C_{1celk}$	Cena za jeden kus	[Kč]
$C_{am}$	Cena amortizace stroje za jednu hodinu	[Kč]
$C_f$	Náklady na formu	[Kč]
CIM	Compress Injection Moulding	[-]
$C_{kompl}$	Cena kompletace	[Kč/ks]
$C_p$	Plastikační kapacita vstřikovacího stroje	[kg/h]
$C_{PP}$	Cena materiálu	[Kč/kg]
$C_{ps}$	Cena provozu stroje	[Kč/hod]
$C_s$	Cena stroje	[Kč]
$C_v$	Vstřikovací kapacita stroje	[cm <sup>3</sup> ]
d	Malý průměr závitu	[mm]
D	Velký průměr závitu	[mm]
$D'$	Předběžný průměr rozváděcích kanálků	[mm]
$D_k$	Průměr rozváděcího kanálku	[mm]
$D_{obal}$	Vnější průměr obalu uzávěru	[mm]
$d_t$	Průměr tvárníku	[mm]
$D_s$	Průměr šneku	[mm]
$D_{vlozka}$	Vnější průměr závitové vložky uzávěru	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
FDM	Fused Deposition Modeling	[-]
G	Hmotnost výstřiku	[kg]
$\dot{G}$	Průchod taveniny ze stroje	[kg/h]
$G_{celk}$	Hmotnost připadající na jednu součást	[g]
$G_{obal}$	Hmotnost obalu uzávěru	[g]
$G_{vlozka}$	Hmotnost závitové vložky uzávěru	[g]
GIT	Gas Injection Technology	[-]
$G_{vz}$	Hmotnost vzduchu	[kg]
$G_{zb}$	Hmotnost vtokového zbytku	[g]
HDPE	Polyethylen s vysokou hustotou	[-]
$h_{pd}$	počet pracovních hodin	[h]
$h_{pp}$	počet pracovních hodin	
f	koeficient tření	[-]
$f_c$	Délka dráhy toku taveniny	[mm]
$F_p$	Uzavírací síla	[kN]
$F_u$	Uzavírací síla	[kN]
$F_v$	Vyhazovací síla	[kN]

Označení	Popis	Jednotka
K	Koeficient využití času	[-]
K <sub>1</sub>	Koeficient tekutosti materiálu	[-]
K <sub>2</sub>	Koeficient délky rozváděcího kanálku	[-]
K <sub>a</sub>	Faktor navýšení objemu taveniny	[g/cm <sup>3</sup> ]
K <sub>f</sub>	Míra amortizace formy	[%]
K <sub>f</sub>	Faktor schopnosti tečení	[bar/mm]
K <sub>p</sub>	Provozní náklady formy	[Kč]
l	Výška nahrazené geometrie součásti	[mm]
LDPE	Polyethylen s nízkou hustotou	[-]
L <sub>S</sub>	Délka dráhy pohybu šneku	[mm]
L <sub>k</sub>	Délka rozváděcího kanálku	[mm]
M <sub>celk</sub>	Množství materiálu	[kg]
n	polytropický exponent	[-]
n <sub>1</sub>	Násobnost formy podle vstřikovací kapacity stroje	[-]
N <sub>1man</sub>	Náklady za materiál na jeden výstřik	[Kč]
N <sub>1VA</sub>	Variabilní náklady na jeden kus	[Kč]
n <sub>2</sub>	Násobnost formy podle plastikačního výkonu stroje	[-]
n <sub>3</sub>	Násobnost formy podle uzavírací síly stroje	[-]
n <sub>5</sub>	Násobnost formy podle ekonomického hlediska	[-]
N	Velikost série	[ks]
N <sub>c</sub>	Životnost formy	[-]
N <sub>celk</sub>	Celkový výrobní náklady	[Kč]
N <sub>f</sub>	Náklady na amortizaci formy	[Kč]
N <sub>hm</sub>	Hrubá mzda operátora	[Kč/hod]
N <sub>k</sub>	Náklady na konstrukci formy	[Kč]
N <sub>kompl</sub>	Náklady na kompletace	
n <sub>m</sub>	Počet měsíců	[-]
N <sub>m</sub>	Náklady na materiál formy	[Kč]
N <sub>mat</sub>	Náklady na materiál	[Kč]
n <sub>mp</sub>	Počet měsíců	[-]
N <sub>mzda</sub>	Náklady na mzdu	[Kč]
N <sub>nepř</sub>	Celkové nepřímé náklady	[Kč]
N <sub>př</sub>	Celkové přímé náklady	[Kč]
N <sub>OR</sub>	Náklady na odbytové režie	[Kč]
n <sub>s</sub>	Otáčky šneku	[min <sup>-1</sup> ]
n <sub>pd</sub>	Počet pracovních dní	[-]
n <sub>p</sub>	Praktická násobnost	[-]
n <sub>pp</sub>	Počet pracovních dní	[-]
N <sub>st</sub>	Náklady na provoz stroje	[Kč]
N <sub>SR</sub>	Náklady na správní režie	[Kč]
n <sub>T</sub>	Termínová násobnost formy	[-]

Označení	Popis	Jednotka
$N_v$	Náklady na výrobu formy	[Kč]
$N_{VR}$	Náklady na výrobní režie	[Kč]
$p_1$	Tlak vzduchu v dutině formy před plněním taveninou	[MPa]
$p_2$	Tlak stlačeného vzduchu na konci plnění	[MPa]
$p_A$	Tvářecí tlak	[MPa]
PA	Polyamid	[-]
PBT	Polybutylentereftalán	[-]
PC	Polykarbonát	[-]
PET	Polyethylentereftalát	[-]
$p_f$	minimální plnicí tlak	[MPa]
$p_i$	Tlak v dutině formy	[MPa]
POM	Polyxemethylen	[-]
PP	Polypropylen	[-]
PPO	Polyfenylenoxid	[-]
PS	Polystyren	[-]
$p_T$	Tlak mezi plastem a tvárníkem	[MPa]
$p_{T-obal}$	Tlak mezi plastem a tvárníkem u obalu	[MPa]
$p_{T-vložka}$	Tlak mezi plastem a tvárníkem u vložky	[MPa]
$p_v$	Vstřikovací tlak	[MPa]
$p_z$	Zbytkový tlak	[MPa]
Q	Vnesené teplo	[kJ/kg]
$Q_{BZ}$	Bod zvratu	[-]
$Q_p$	Plastikační výkon stroje	[kg/hod]
$Q_v$	Vstřikovací kapacita stroje	[cm <sup>3</sup> ]
$R_o$	Doba odpisu stroje	[rok]
s	Střední tloušťka stěny výstřiku	[mm]
S	Plocha průřezu jednoho výstřiku	[mm <sup>2</sup> ]
SAN	Styren-akrylonitril	[-]
$S_{KC}$	Průřez odvodušňovacího kanálu	[mm <sup>2</sup> ]
$s_m$	Smrštění	[%]
$S_{obal}$	Zjednodušená plocha obalu uzávěru	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{vložka}$	Zjednodušení plocha závitové vložky uzávěru	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{vtok}$	Plocha vtokového zbytku	[mm <sup>2</sup> ]
$t_1$	Doba uzavírání formy	[s]
$T_1$	Teplota okolí	[K]
$t_2$	Doba přisunutí vstřikovací jednotky	[s]
$T_2$	Teplota stlačeného vzduchu	[K]
$t_3$	Doba otevření a vyhození výstřiku	[s]
$t_4$	Doba prodlevy	[s]
$t_{s1}$	Strojní čas uzavření formy	[s]
$t_{s2}$	Strojní čas přisunutí vstřikovací jednotky	[s]



Označení	Popis	Jednotka
$t_{s3}$	Strojní čas otevření formy a vyhození výstřiku	[s]
$t_c$	Čas vstřikovacího cyklu	[s]
$t_{csč}$	Čistý strojní čas	[h]
$t_{čp}$	Čas produkce	[h]
$t_d$	Čas dotlaku	[s]
$T_E$	Teplota odformování	[°C]
$T_F$	Teplota formy	[°C]
$t_{chl}$	Čas chlazení	[s]
$T_M$	Teplota taveniny	[°C]
$t_m$	Čas manipulátoru	[s]
$t_p$	Doba produkce	[hod]
$t_{pl}$	Čas plastikace	[s]
$t_v$	Čas vstřikování	[s]
$v$	Maximální obvodová rychlost šneku	[m/s]
$V$	Objem výstřiku	[cm <sup>3</sup> ]
$V_D$	Vstřikovaný objem	[cm <sup>3</sup> ]
$V_{obal}$	Objem obalu uzávěru	[cm <sup>3</sup> ]
$V_k$	Objem vtokového zbytku	[cm <sup>3</sup> ]
$v_s$	Vstřikovací rychlost	[cm <sup>3</sup> /s]
$V_{vlozka}$	Objem závitové vložky uzávěru	[cm <sup>3</sup> ]
WIT	Water Injection Technology	[-]
$Z$	Požadovaný zisk	[%]
$Z_l$	Výše zisku	[Kč]
$Z_{celk}$	Roční zisk	[Kč]
$\check{Z}_f$	Životnost formy	[-]
$\Delta h$	Rozdíl entalpií	[kJ/kg]
$\varepsilon$	smrštění	[%]
$\eta$	Dynamická viskozita	[Pa.s]
$\rho$	Hustota	[g/cm <sup>3</sup> ]
$\rho_{vz}$	Hustota vzduchu	[kg/m <sup>3</sup> ]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady výrobků z plastů [7], [8], [9], [10].	10
Obr. 2 Hrdlo PCO 1810 [11].	11
Obr. 3 Model uzávěru.	11
Obr. 4 Lisování plastů [12].	12
Obr. 5 Přetlačování plastů [12].	12
Obr. 6 Gravitační odlévání plastů [15].	13
Obr. 7 FDM 3D tisk [1].	13
Obr. 8 Vstřikování plastů [12].	14
Obr. 9 Princip vstřikování plastů [17].	15
Obr. 10 Průběh vstřikovacího cyklu [13].	16
Obr. 11 Rychlost toku taveniny [13].	17
Obr. 12 Vliv doby přepnutí na průběh tlaků [13].	17
Obr. 13 Rozsah objemu dávek u vstřikovacích strojů [13].	18
Obr. 14 Základní popis vstřikovací formy [20].	19
Obr. 15 Ukázka volby dělicí roviny [18].	20
Obr. 16 Rozmístění vyhazovacích kolíků [22].	22
Obr. 17 Princip funkce stírací desky [19].	22
Obr. 18 Činnost vzduchového vyhazovače [23].	23
Obr. 19 Studený vtok [22].	24
Obr. 20 Varianty uspořádání vtoků [22].	24
Obr. 21 Porovnání provedení rozváděcích kanálků [19].	25
Obr. 22 Řez kuželovým vtokem [24].	25
Obr. 23 Řez bodovým vtokem [24].	25
Obr. 24 Řez tunelovým vtokem [24].	25
Obr. 25 Řez filmovým vtokem [24].	26
Obr. 26 Druhy vyhřívání trysek [19].	26
Obr. 27 Druhy ústí vyhříváných vtokových trysek [19].	27
Obr. 28 Vliv hustoty kanálků na rovnoměrnost teploty [19].	27
Obr. 29 Typy přepážek temperačního systému [19].	28
Obr. 30 Doporučená konstrukce odvětrávací kanálku [19].	28
Obr. 31 Úprava kolíku pro odvětrání [26].	28
Obr. 32 Popis vstřikovacího stroje [19].	29
Obr. 33 Pásma šneku [27].	30
Obr. 34 Mechanická uzavírací jednotka [28].	30
Obr. 35 Dvoukomponentní vstřikování [13].	31
Obr. 36 Sendvičové vstřikování [13].	32
Obr. 37 Vstřikování plastů s podporou plynu [6].	32
Obr. 38 Princip kompresního vstřikování [13].	33
Obr. 39 Model vstřikovaných součástí.	34
Obr. 40 Určení polohy dělicí roviny.	35
Obr. 41 Umístění vtoků programem Autodesk Inventor 2017.	35
Obr. 42 Volba místa vtokového ústí.	35
Obr. 43 Určení délky toku taveniny.	37
Obr. 44 Zjednodušená geometrie dílců.	39
Obr. 45 Simulace doby plnění dutiny.	41
Obr. 46 Grafické znázornění vstřikovacího cyklu.	42
Obr. 47 Zobrazení závitů končícího v dosedací ploše.	44
Obr. 48 Základní rám formy.	44
Obr. 49 Tvarové vložky.	45
Obr. 50 Zaformované tvárnice a tvárníky v deskách formy.	45

Obr. 51 Analýza spolehlivosti plnění. ....	46
Obr. 52 Zobrazení pozic přidržovačů vtoku a prodloužených čel.....	46
Obr. 53 Simulační analýza kvality chlazení .....	47
Obr. 54 Temperační systém pohyblivé části formy.....	47
Obr. 55 Temperační systém pevné části formy. ....	48
Obr. 56 Vyhazovací systém.....	48
Obr. 57 Znázornění rozevření formy.....	49
Obr. 58 Návrh odvzdušnění.....	49
Obr. 59 Profil odvzdušňovacího kanálku .....	49
Obr. 60 Manipulační prvky. ....	50
Obr. 61 Rozvržení podkladných čepů. ....	50
Obr. 62 Vstřikovací stroj Chen Hsong Easymaster EM80 – SVP/2 [37].....	51
Obr. 63 Zobrazení podílů z celkových výrobních nákladů. ....	56
Obr. 64 Závislost výše nákladů a tržeb na objemu produkce.....	57

## SEZNAM TABULEK

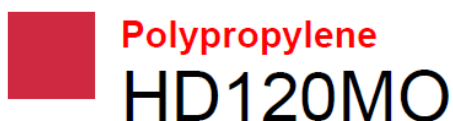
Tab. 1 Tabulka plastů pro výstřiky se závity s povoleným protažením [18].....	23
Tab. 2 Doporučená hloubka drážek pro různé plasty [18]. ....	28
Tab. 3 Základní parametry materiálu Borealis HD120MO [29], [30].....	34
Tab. 4 Koeficient délky rozvádějící kanálku [20]. ....	37
Tab. 5 $D' = f(G, s)$ – Průměr $D'$ závisí na hmotnosti a tloušťce stěny výstřiku [20]. ....	37
Tab. 6 Řada průměrů vstřikovacích šneků [20].....	39
Tab. 7 Doba vstřikování podle vstřikovaného objemu a viskozity materiálu [20].....	40
Tab. 8 Zvolené materiály pro základní části formy [19], [33], [34], [35]. ....	44
Tab. 9 Porovnání parametrů stroje s hodnotami návrhu.....	51
Tab. 10 Technologický postup. ....	52
Tab. 11 Základní údaje pro výpočet výrobních nákladů. ....	53
Tab. 12 Ceny pro jednotlivé díly formy [32]. ....	54

## SEZNAM PŘÍLOH

CD	Elektronická verze diplomové práce	
Příloha 1	Materiálový list PP Borealis HD120MO	(2 strany)
Příloha 2	Data pro vstřikování materiálu od firmy Engel	
Příloha 3	Praktická násobnost formy	
Příloha 4	Orientační parametry vstřikování	
Příloha 5	Simulace doby plnění dutiny formy	(2 strany)
Příloha 6	Cenová nabídka na vstřikovací stroj Chen Hsong Easymaster EM80 – SVP/2	
Příloha 7	Katalogový list vstřikovacího stroje Chen Hsong Easymaster EM80 – SVP/2	(2 strany)

## SEZNAM VÝKRESŮ

DP – 144985 – 000	Sestava vstřikovací formy
DP – 144985 – 008	Tvárník – závitová vložka
DP – 144985 – 009	Tvárník – obal
DP – 144985 – 010	Tvarová dutina – obal
DP – 144985 – 011	Tvarová dutina – závit
DP – 144985 – KUSOVNÍK	Kusovník k sestavě (3 strany)
DP – 144985 – OBAL	Obal uzávěru
DP – 144985 – VLOŽKA	Závitová vložka



## Description

**HD120MO** is a polypropylene homopolymer with a good combination of mechanical properties intended for injection moulding.

## Applications

Sanitary equipment  
Caps and closures

General packaging

## Physical Properties

Property	Typical Value	Test Method
Data should not be used for specification work		
Density	908 kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183
Melt Flow Rate (230 °C/2,16 kg)	8 g/10min	ISO 1133
Tensile Modulus (1 mm/min)	1.500 MPa	ISO 527-2
Tensile Strain at Yield (50 mm/min)	9 %	ISO 527-2
Tensile Stress at Yield (50 mm/min)	33,5 MPa	ISO 527-2
Heat Deflection Temperature (0,45 N/mm <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>	88 °C	ISO 75-2
Charpy Impact Strength, notched (23 °C)	4 kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Hardness, Rockwell (R-scale)	98	ISO 2039-2

<sup>1</sup> Measured on injection moulded specimens acc. to ISO 1873-2

## Processing Techniques

This product is easy to process with standard injection moulding machines.

Following parameters should be used as guidelines:


Melt temperature	230 - 260 °C	
Holding pressure	200 - 500 bar	Minimum to avoid sink marks.
Mould temperature	10 - 30 °C	
Injection speed	As high as possible.	

Shrinkage 1 - 2 %, depending on wall thickness and moulding parameters

## Storage

**HD120MO** should be stored in dry conditions at temperatures below 50°C and protected from UV-light. Improper storage can initiate degradation, which results in odour generation and colour changes and can have negative effects on the physical properties of this product.





# Polypropylene HD120MO

## Safety

The product is not classified as a dangerous preparation.

## Recycling

The product is suitable for recycling using modern methods of shredding and cleaning. In-house production waste should be kept clean to facilitate direct recycling.

Please see our "Safety data sheet" / "Product safety information sheet" for details on various aspects of safety, recovery and disposal of the product. For more information, contact your Borealis representative.

## Related Documents

The following related documents are available on request, and represent various aspects on the usability, safety, recovery and disposal of the product.

"Safety data sheet" / "Product safety information sheet"

Recovery and disposal of polyolefins

Information on emissions from processing and fires

Statement on compliance to food contact regulations

## Disclaimer

**The product(s) mentioned herein are not intended to be used for medical, pharmaceutical or healthcare applications and we do not support their use for such applications.**

To the best of our knowledge, the information contained herein is accurate and reliable as of the date of publication, however we do not assume any liability whatsoever for the accuracy and completeness of such information.

**Borealis makes no warranties which extend beyond the description contained herein. Nothing herein shall constitute any warranty of merchantability or fitness for a particular purpose.**

**It is the customer's responsibility to inspect and test our products in order to satisfy itself as to the suitability of the products for the customer's particular purpose. The customer is responsible for the appropriate, safe and legal use, processing and handling of our products.**

No liability can be accepted in respect of the use of Borealis' products in conjunction with other materials. The information contained herein relates exclusively to our products when not used in conjunction with any third party materials.

## Data materiálů pro vstřikování

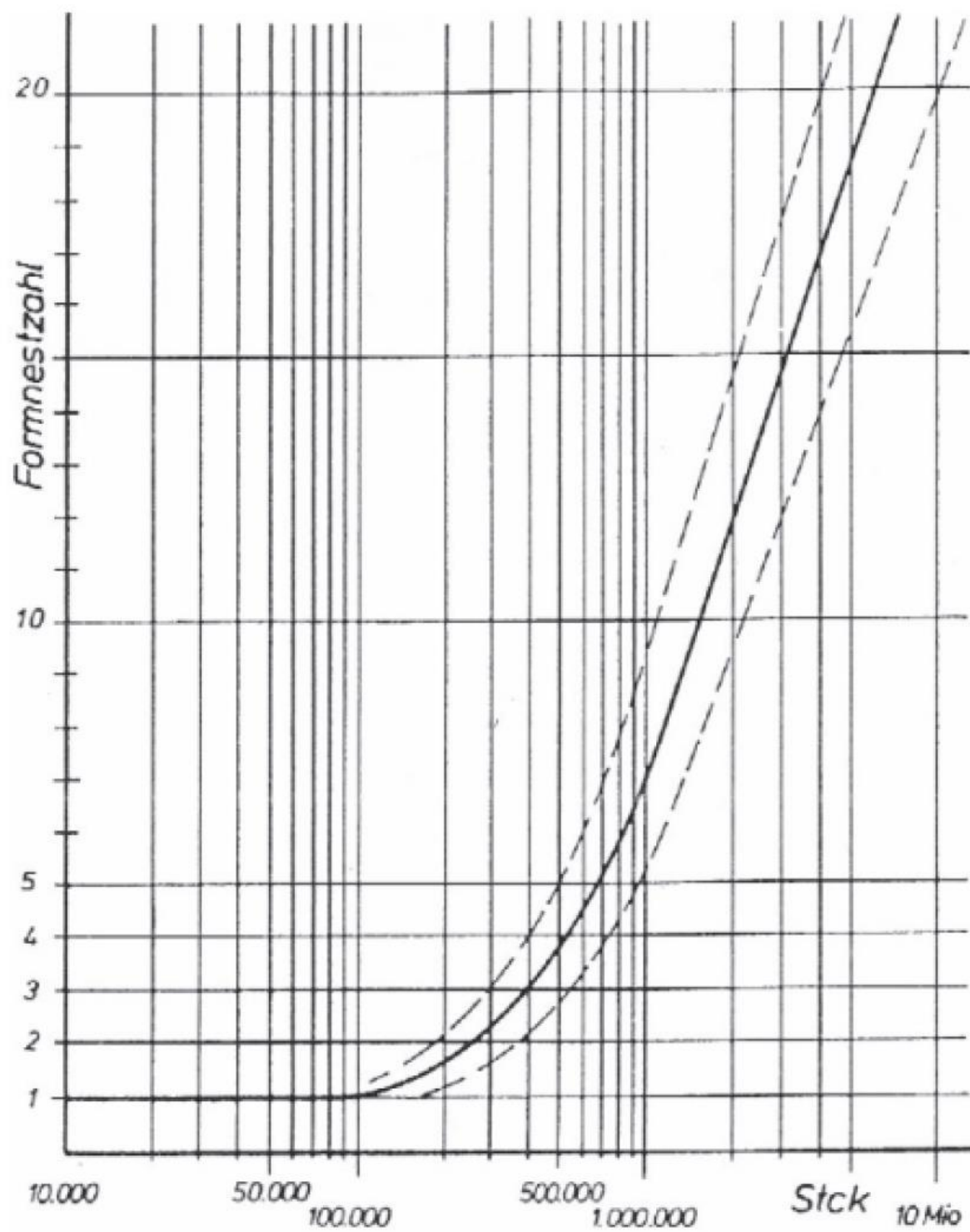
# ENGEL

[illegible]

Uvedené hodnoty jsou nezávazné, doporučené hodnoty

ENGEL Austria GmbH, A-4311 Schvertberg, telefon +43 50 620 - 0, fax +43 50 620 - 3009

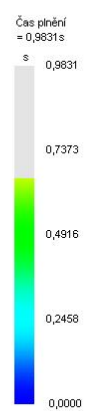
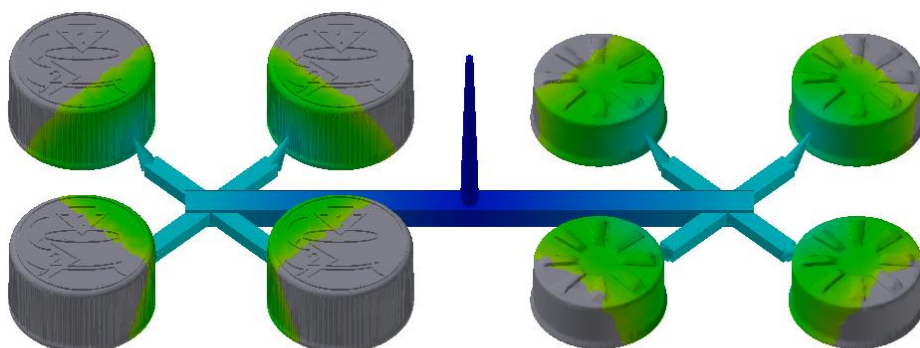
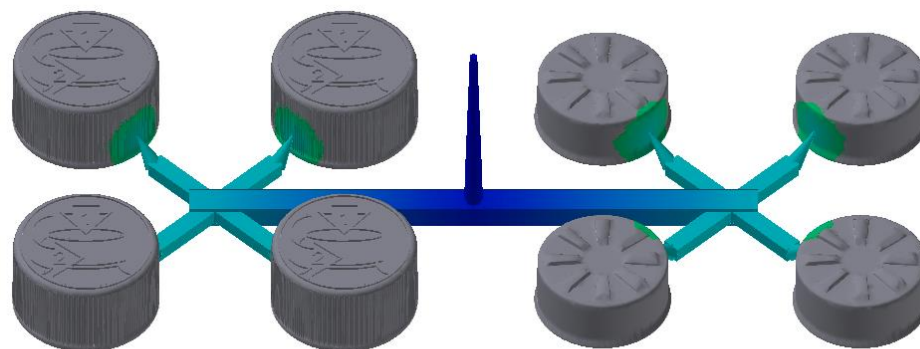
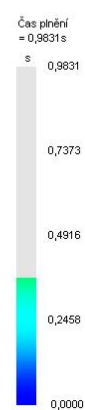
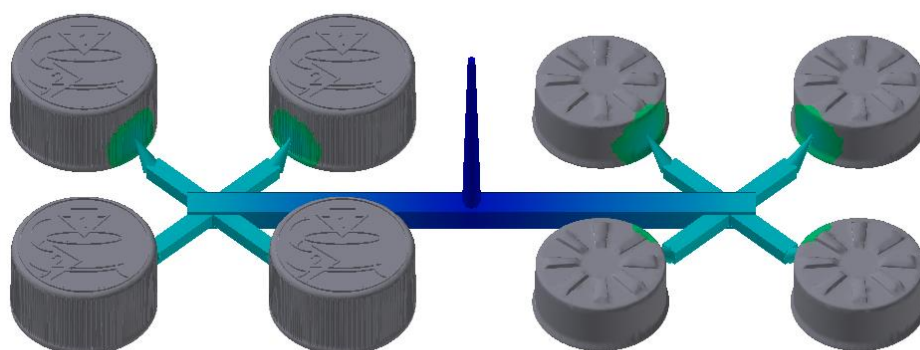
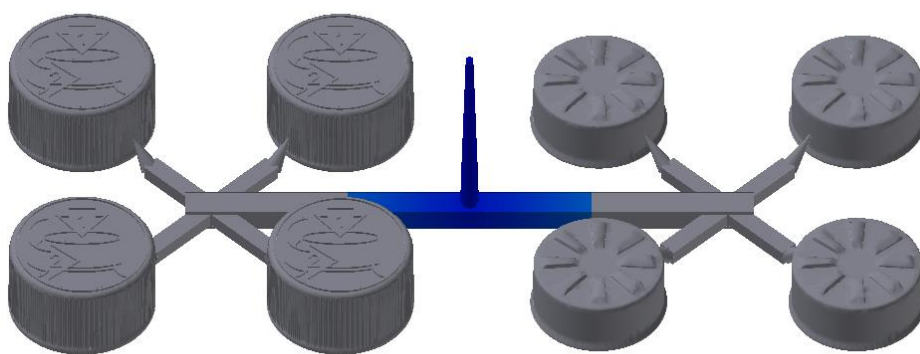
### Příloha 3 – Praktická násobnost formy [20]



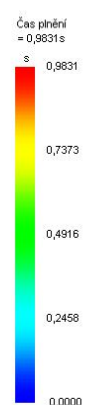
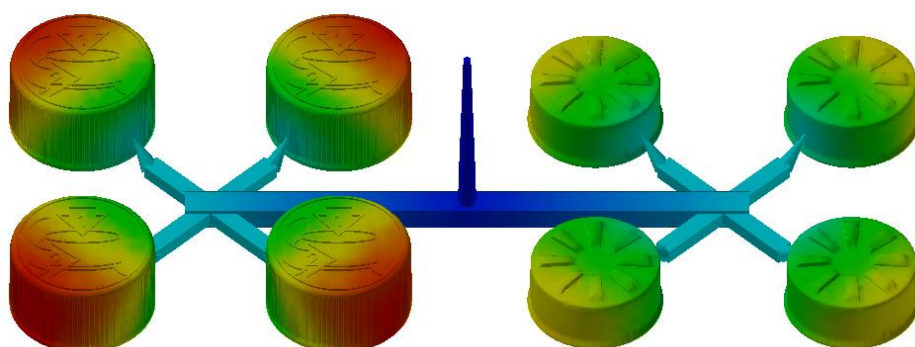
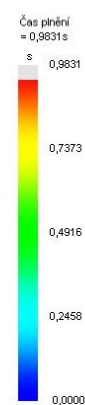
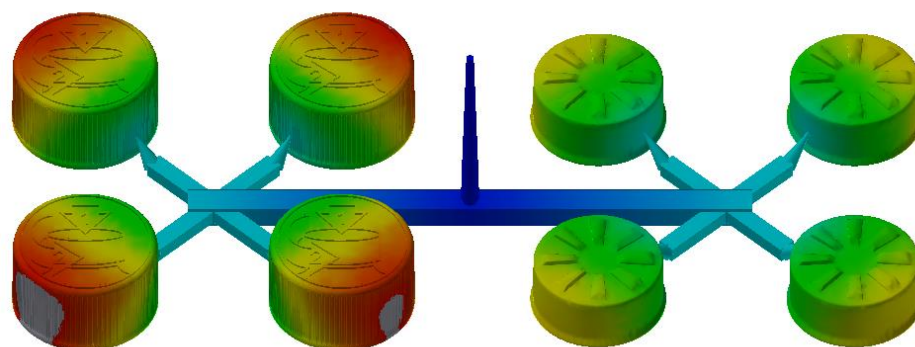
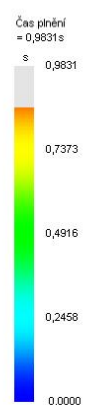
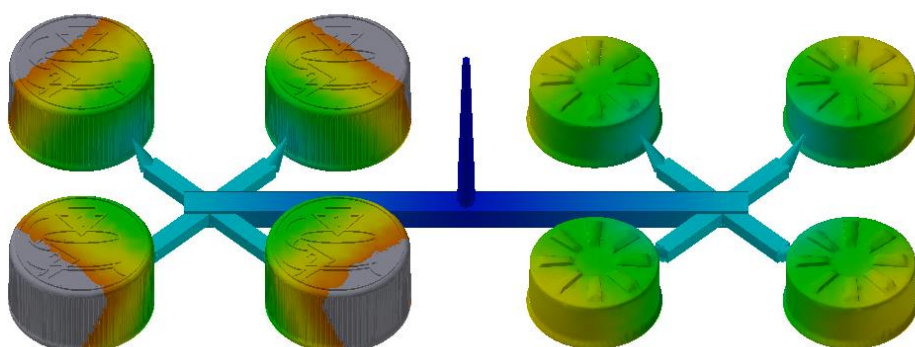
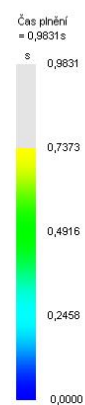
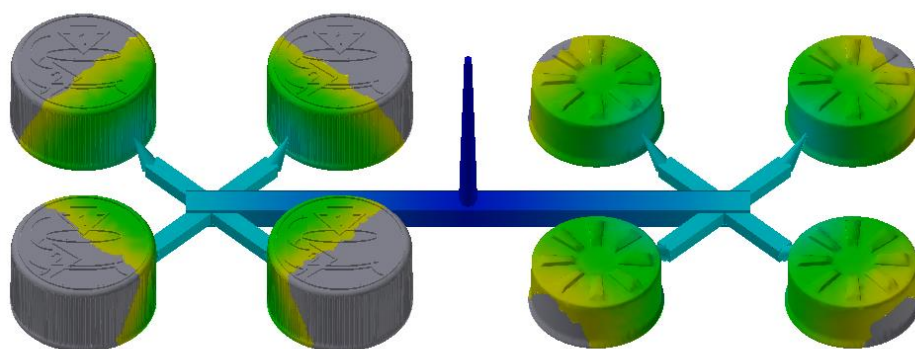


## Příloha 4 – Orientační parametry vstřikování [2]

Termoplast	Zkratka	Amorfni – A	Částečně krystalický – K	Hustota	Sušení suchým vzduchem (typické hodnoty)	Max. obsah zbytkové vlhkosti (typický po sušení)	Teplota tavení (typický rozsaň)	Teplota formy (typický rozsaň)	Vstřikovací tlak před čepem šneku (typický rozsaň)	Dotlak v % ze vstřikovacího tlaku	Zdeňný odpor tlak (typický rozsaň)	Obvodová rychlost na šneku	Max. doba prodlév ve vstřikovacím rozvodu (při teplotě tavení)	Pošíř v % (typický rozsaň)	Výrobní
Acetát celulózy	CA	A		[g cm <sup>-3</sup> ] 1,20-1,31	[°C] 55-70	[%] 0,25 (0,15)	[°C] 170-210	[°C] 40-70	[bar] 500-1400	[%] 40-80	bar do 30	[m s <sup>-1</sup> ] 0,1-0,2	[min] 12	[%] 4-6	[%] 0,3-0,6
Butyroacát celulózy	CAB	A		1,18-1,22	55-85	0,25 (0,15)	170-220	40-70	500-1400	40-80	do 30	0,1-0,2	12	4-6	0,4-0,7
Propionát celulózy	CP	A		1,18-1,24	55-85	0,25 (0,15)	180-230	40-80	500-1400	40-80	do 30	0,1-0,2	12	4-6	0,3-0,6
Polypropylen	PP	K		0,900- 0,907	ne, 80	0,1	180-300	20-60 (100)	500-1200	50-90	do 50	až 0,3	40	až 10	1,5-2,5
Polypropylen s 20 % táku	PP 20T	K		1,04	110-120	0,1	220-280	30-60	600-1600	50-90	do 50	až 0,3	40	až 10	0,8-1,6
Polypropylen s 30 % SV	PP 30SV	K		1,14	110-120	0,1	240-300	40-80	800-1800	50-90	do 30	až 0,25	40	až 10	0,6-1,4
Vysokohustotní polyetylen	HDPE	K		0,939- 0,965	ne, 80	0,5	200-280	10-90	600-1400	50-80	do 50	až 0,3	40	až 10	1,4-2,5
Nízkohustotní polyetylen	LDPE	K		0,914- 0,928	ne, 80	0,5	180-260	10-60	300-800	50-80	do 50	až 0,3	40	až 10	1,8-3,5
Standardní polystyren	PS	A		1,05-1,10	60	0,1	170-280	30-70	400-1500	30-80	do 50	až 0,3	30	až 10	0,2-0,6
Houževnatý polystyren	HI-PS	A		1,04-1,06	70-80	0,1	180-280	40-70	600-1500	30-80	do 50	až 0,3	30	až 10	0,4-0,7
Styren – akrylonitrilový kopolymér	SAN	A		1,07-1,09	70-80	0,1	200-260	40-80	700-1500	40-80	do 40	až 0,3	30	až 10	0,4-0,6
Akrylonitril-butadien- styrenový kopolymér	ABS	A		1,04-1,10	80	0,1	190-260	40-90	600-1400	40-80	do 40	až 0,3	30	až 10	0,4-0,8
Methylnakrylát- akrylonitril-butadien- styrenový kopolymér	ABS/SV	A		1,23-1,36	80	0,1	230-280	60-100	800-1600	40-80	do 30	až 0,2	30	až 10	0,2-0,3
Ethylen-vinyl-acetátový kopolymér	MABS	A		1,10-1,12	80	0,1	200-260	40-80	600-1600	50-80	do 20	až 0,2	30	až 10	0,4-0,8
Polyvinyl-chlorid (tvrdý)	PVC			0,94-0,95	50-60	0,1	150-200	10-50	600-1000	50-80	do 30	až 0,2	20	až 10	2,0-3,0
Polyvinyl-chlorid (houževnatý)	PVC			1,36-1,39	60-70		160-180	20-50	800-1500	30-60	do 30	až 0,2	20	do 5	0,5-0,9
Polyvinyl-chlorid (mekký)	PVC			1,35-1,36	60-70		150-190	20-50	900-1500	30-60	do 30	až 0,2	20	do 5	0,7-1,2
Polyethylenakrylát	PMAA	A		1,19-1,28	50-60		140-200	20-50	400-1000	30-60	do 30	až 0,2	20	do 5	0,8-3,5
Polyamid 6	PA6	K		1,18-1,19	80-90	0,1	180-250	40-80	800-2000	40-90	do 30	až 0,2	30	do 5	0,2-0,8
Polyamid 6, skleněné vlákno	PA6 SV	K		1,12-1,14	80	0,2	230-270	40-90	600-1200	40-90	do 40	až 0,25	20	do 10	0,6-2,1
Polyamid 6, minerální plnivo	PA6 M	K		1,28-1,50	80-90	0,2	250-290	50-120	800-1400	40-90	do 30	až 0,15	20	do 10	0,2-0,4
Polyamid 66	PA66	K		1,22-1,50	80-90	0,2	240-290	50-110	800-1400	40-90	do 40	až 0,25	20	do 10	0,5-0,9
Polyamid 66, skleněné vlákno	PA66 SV 15-	K		1,13-1,15	80	0,2	270-310	50-100	600-1400	40-90	do 40	až 0,25	20	až 10	1,2-1,9
Polyamid 66, minerální plnivo	PA66 M	K		1,28-1,42	80	0,2	280-310	50-120	800-1600	40-90	do 30	až 0,15	20	až 10	0,2-0,5
Polyamid 46	PA46	K		1,24-1,50	80-90	0,2	280-300	50-110	800-1500	40-90	do 40	až 0,25	20	až 10	0,4-1,5
Polyamid 11	PA11	K		1,18-1,82	80-90	0,1	280-330	60-120	800-1600	40-90	do 20	do 0,20	10	do 50	2
Polyamid 11, skleněné vlákno	PA11 SV	K		1,04-1,05	75-80	0,1	220-280	40-80	500-1000	40-90	do 30	až 0,25	20	až 10	0,8-1,4
Polyamid 12	PA12	K		1,26-1,30	80-90	0,1	240-290	60-100	700-1600	40-90	do 30	až 0,15	20	až 10	0,4-0,8
Polyamid 12, skleněné vlákno	PA12 SV	K		1,01-1,02	75-80	0,1	220-280	40-80	600-1200	40-90	do 20	až 0,25	20	až 10	0,8-1,4
Polyamid transparentní	PA-T	K		1,21-1,25	80-90	0,1	240-290	60-100	700-1600	40-90	do 30	až 0,15	20	až 10	0,4-0,8
Polykarbonát	PC			1,00-1,06	80	0,06	280-300	80-120	800-1600	40-90	do 30	až 0,15	20	až 10	0,8-1,4











## Příloha 6 – Cenová nabídka na vstřikovací stroj Chen Hsong Easymaster EM 80 – SVP/2 [36]

ŠMÍD a spol., s.r.o

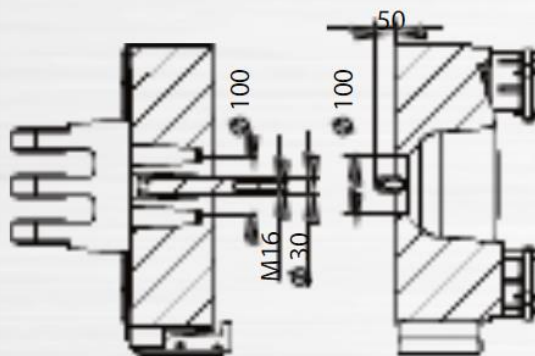
<b>Vstřikovací stroj:</b> <b>CHEN HSONG Easymaster EM80 - SVP/2</b>		 The Chen Hsong Group 震雄集團	
			
Uzavírací síla : 800 kN			
Světlost mezi sloupky : 355 x 330 mm			
Min. - max. výška formy : 130 - 320 mm			
Zdvih beranu : 320 mm			
Max. rozestup desek : 640 mm			
Průměr šneku : 31 mm, 36 mm, 42 mm			
Vstřikovací objem : 121 cm <sup>3</sup> , 163 cm <sup>3</sup> , 221 cm <sup>3</sup>			
Vstřikovací tlak : 2140 bar, 1590 bar, 1162 bar			
Poměr L/D : 23 - 20 - 17			
Příkon čerpadla : 11 kW			
Příkon topení : 6,5 kW			
Rozměry D x Š x V : 4,6 x 1,1 x 1,7 m			
<b>standartní vybavení :</b>			
řídící systém B&R 88 Smart, hydraulika Rexroth			
1x hydraulický tahač jader			
1x vzduchový ventil			
rozmístění upínacích otvorů na deskách dle Euromap			
rozmístění upínacích otvorů pro robota dle Euromap			
design trysky dle Euromap			
rozhraní pro robot Euromap 67			
1x zásuvka 400V/16A			
1x zásuvka 230V/16A			
CE konformita			
nivelační prvky			
upínky pro formu			
sada náhradních dílů (včetně zpětného uzávěru šneku)			
servo Inovance standart			
cena		\$	<b>36 000,00</b>
Platební podmínky : 30 % po objednání, 60 % před expedicí z výrobního závodu, 10 % po uvedení do provozu.			
Stanovení ceny : včetně cla, dopravy k zákazníkovi ale bez nastěhování do haly, uvedení do provozu, zaškolení obsluhy v trvání 8 hodin a bez DPH a olejové náplně			
Záruka : 24 měsíců. Záruka se nevztahuje na vady způsobené nesprávným používáním stroje a na opotřebení odpovídajícímu provozním hodinám			
Dodací lhůta : 20 - 28 týdnů od uhrazení zálohy			
Platnost nabídky : 4 týdny			

**Příloha 7 – Katalogový list vstřikovacího stroje Chen Hsong  
Easymaster EM 80 – SVP/2 [37]**

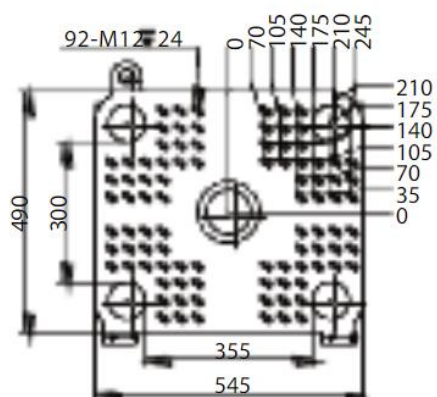
(1/3)

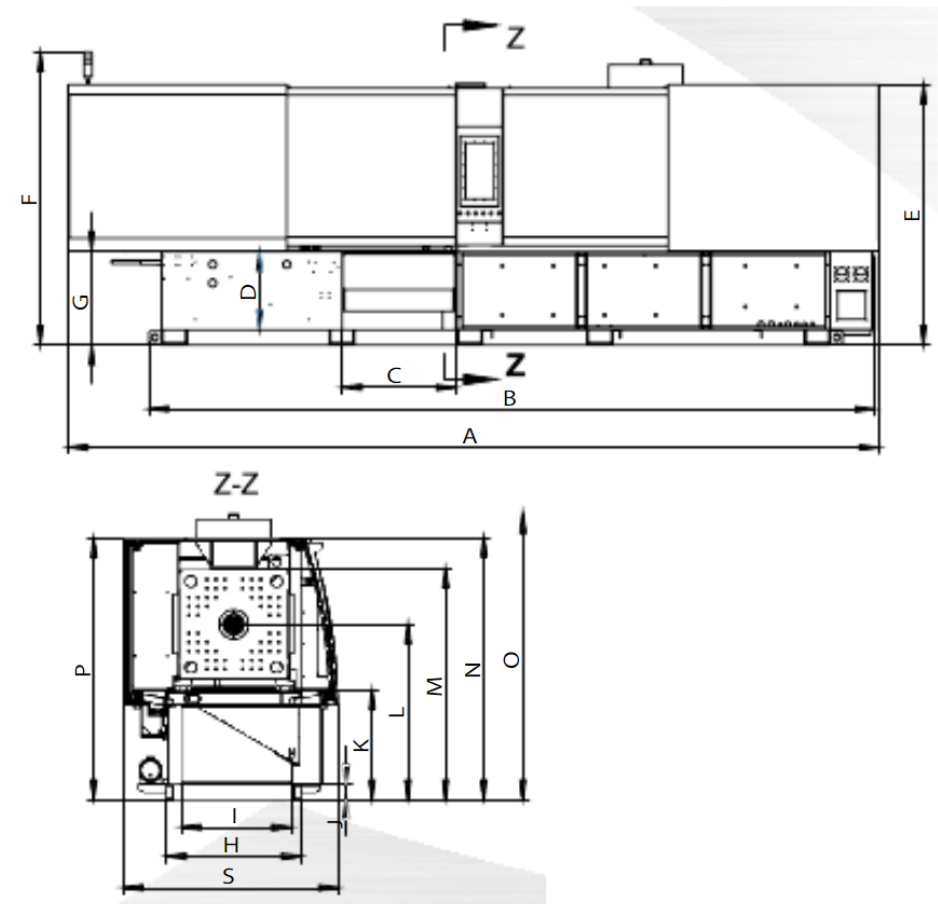


INJECTION UNIT		UNIT	EM80-SVP/2		
Swept Volume	cm <sup>3</sup>	121	163	221	
Injection Weight (PS)	g	113	150	203	
Screw Diameter	mm	31	36	42	
Screw L/D Ratio	L/D	23	20	17	
Injection Pressure (Max.)	kgf/cm <sup>2</sup>	2.140	1.590	1.162	
Injection Rate (PS)	g/s	64	86	117	
Plasticizing Capacity (IPS)	g/s	6,6	10,8	15,1	
Screw Rotation Speed (Max.)	rpm	185			
Screw Stroke	mm	160			
CLAMPING UNIT					
Clamping Force (Max.)	t	80			
Opening Stroke	mm	320			
Maximum Daylight	mm	640			
Mould platen (HxV)	mm	490 x 545			
Space between Tie Bars (HxV)	mm	355 x 300			
Mould Thickness (Max.)	mm	320			
Mould Thickness (Min.)	mm	130			
Ejector Stroke	mm	80			
Ejector Force	t	2,7			
OTHERS					
System Pressure	kgf/cm <sup>2</sup>	175			
Pump Motor	kW	11			
Electrical Heating	kW	6,5			
Temperature Control Zones	Zones	4			
Oil Tank Capacity	L	170			
Machine Dimensions (LxWxH)	m	4,52 x 1, 37 x 1,7			
Machine Weight	t	2,8			

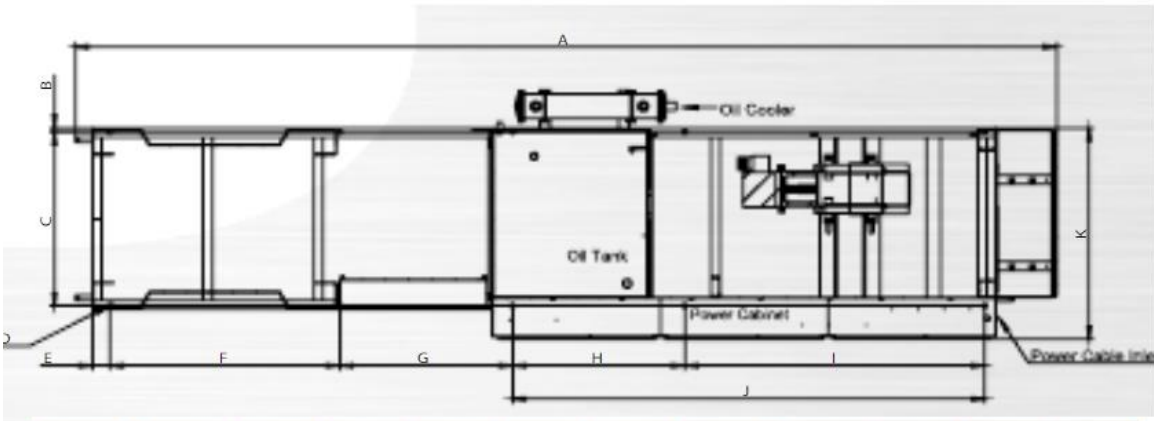
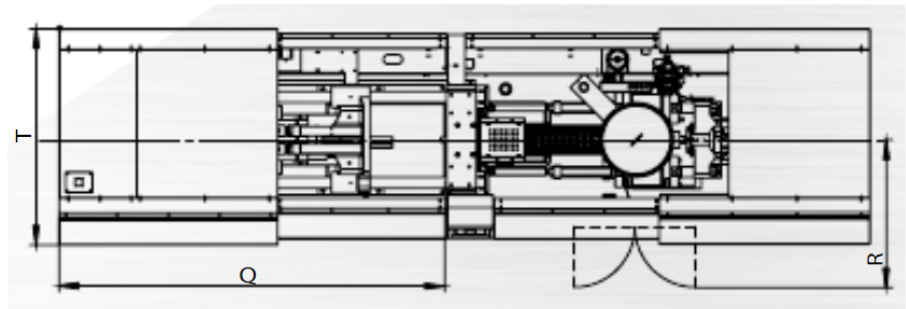


**EM80-SVP/2**





Symbol	Model	EM80-SVP/2
A	4489	
B	3929	
C	614	
D	555	
E	1488	
F	1735	
G	682	
H	680	
I	450	
J	120	
K	820	
L	1115	
M	1360	
N	1473	
O	1810	
P	1488	
Q	2180	
R	1010	
S	1295	
T	1295	



Symbol	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
30-SVP/2	3929	22.5	635	22	75	760	735	/	/	1915	900